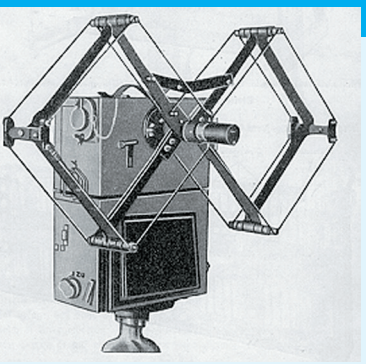
RÁDIÓ — TECHNIKA ÉVKÖNYVE 2021

www.ret.hu
ret elektronika
Telefon: (62) 554-600

Anico
www.anico.hu
www.radioamatorwebshop.eu
STANDARD HORIZON YAESU Vertex Standard AUTHORIZED DISTRIBUTOR

INCOMP Electronics
Alkatrész kis- és nagykereskedelem
EXPORT - IMPORT
2120 Dunakeszi, Fő út 35. ☎ (27) 342-407
www.incomp.hu

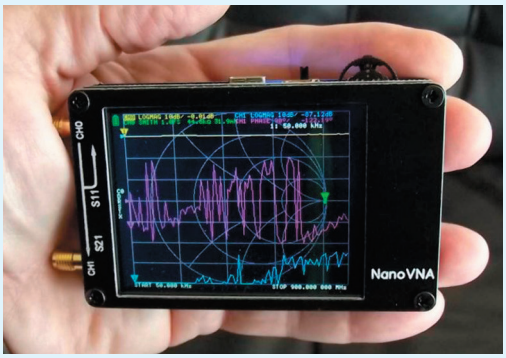
Kontel Kft.
Elektronikai Alkatrész Nagykereskedés
Ellenállások, diódák, IC-k, kondenzátorok, akkumulátorok, önok, csatlakozók, LED-ek, stb. nagy választékban.
1043 Budapest, Munkásotthon u. 33-39
Telefon:+36 1370-3709, Fax:+36 1 370 3709
E-mail: info@kontel.hu, kontel@t-online.hu
Webáruház: www. kontel.hu



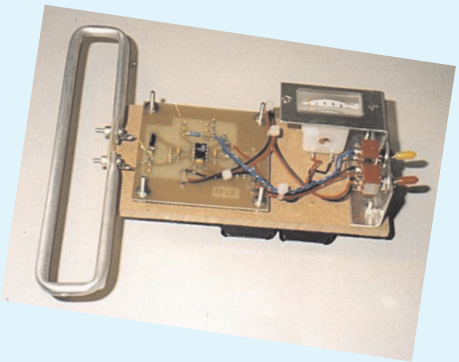
›ELSTER‹

SKK

NanoVNA



Térerő-indikátorok



DDS

»Okos kesztyű«

21001
9770557622000

A RÁDIÓTECHNIKA ÉVKÖNYVE 2021

Szerkesztette:

Békei Ferenc főszerkesztő
okl. vill. üzemmérnök, HA5KU

Írták:

Balás B. Dénes technikus, HA8BDE

Békei Ferenc okl. vill. üzemmérnök, HA5KU

Gunter, Cramer villamosmérnök

Cseley Ágoston okl. olajmérnök, HA8KT

Csiszár János okl. villamosmérnök

Irházi Sándor okl. villamosmérnök, HA5LR

König Imre villamosmérnök

Lambert Miklós okl. villamosmérnök

Lendvai Klára, HA5BA

dr. Madarász László okl. villamosmérnök

Nagymáté Csaba villamosmérnök

Pálinkás Tibor gépészmérnök

dr. Simoncsics László okl. villamosmérnök

dr. Sipos Mihály okl. villamosmérnök

Thuróczy Bertalan orvosbiológiai mérnök

dr. Tolnai János okl. hír.techn.-i szakmérnök, HA5LQ

Vörös Tamás tanár

Tartalomjegyzék

Előszó 3

TUNGSRAM-krónika 4

»Elster« Egy érdekes szuperregeneratív adó-vevő 18

Gépadók 25

Közvetlen digitális szintézis 34

A R&S® SMCV100B típusú vektor-jelgenerátor 50

Mesterséges intelligenciával a Raynaud-betegség ellen . . 52

Méter-sztori III. 61

LED-fény – de milyen?! 76

Kivezérlésmérés, kivezérlésmérők, hangosság 90

A 2020-as digitális CMOS áramkörök, a jövő lehetőségei . . 98

Elektronikai eszközök, készülékek hűtése 121

Inverteres hegesztőből precíziós tápegység 136

Térerő-indikátorok az amatőr gyakorlatban 148

Egyszerű vizsgáló, tesztelő berendezések 159

Technikatörténet – évszámokban 174

NanoVNA – a kicsi, príma és olcsó 190

Amatőr kapcsolások – kezdőknek, haladóknak 199

Cq de HA... Cq de HG... 2020 210

Sok kis kapcsolás 212

2022-es akciós Rádiótechnika évkönyvrendelés 215

Hirdetések 216

© A könyvvel kapcsolatos minden jog fenntartva!

A könyvben szereplő cikkek, ábrák, illusztrációk, ill. azok részei szerzői jogi védelem alatt állnak. Azokat részben, vagy egészben, bármilyen módon reprudukálni, adatrögzítő rendszerekben rögzíteni és/vagy tárolni, nyilvánosságra hozni (az iskolai oktatásban történő fehasználás kivételével) a kiadó egyértelmű engedélye nélkül tilos!

Kiadja:

a Rádióvilág Kft.

A kiadásért felel: Békei Ferenc ügyvezető igazgató

Tördelés és nyomdai előkészítés: TypoMix Kft.
Felelős vezető: Bohner Ferenc

Nyomás: AduPrint Kft., Budapest, 2020 www.aduprint.hu
Felelős vezető: Tóth Éva ügyvezető igazgató

HU–ISSN 0557–6229

Előszó

Folyóiratunk évkönyveinek LIV. kötetét nyújthatjuk át a kedves Olvasónak. Ezen kiadványunkban is a jól bevált tartalmi összeállítást követjük: a rádió adás-vétel technika, a műszer- és méréstechnika, az alkatrészek, az ipari és az általános elektronika területeiről közlünk elméleti és történeti, illetve gyakorlati jellegű írásokat.

2021-es évkönyvünk erős szakmatörténeti cikkösszeállítással köszönt az olvasóra. Indító cikkünkben *Gunter Krämer* – korábbról ismert német szerzőnk – újra jelentkezik kutatásainak eredményeivel a TUNGSRAM-krónika c. rendkívül tartalmas összeállításában. *Irházi Sándor* (HA5LR) az Elster-t, egy kevéssé ismert II. világháborús Lorenz adó-vevőt, míg *Balás B. Dénes* (HA8BDE) a hírközlés hőskora gépadóinak történetét ismerteti.

Ezen kötetünk szerzői közül kiemelésre érdemes *König Imre* DDS-bemutató anyaga okán és *Lambert Miklós*, aki két témával is jelentkezik legújabb évkönyvünkben. Örömmel nyugtázhatjuk, hogy kiadványunkban ez alkalommal is publikál az ifjúság. *Thuróczy Bertalan* orvosbiológiai mérnök részletesebben mutatja be a lapunk hasábjairól már ismert „okos kesztyűjét". *Nagymáté Csaba* és *Vörös Tamás* törzs-szerzőink idén sem okoznak majd csalódást, lévén cikkeik ezúttal is a praktikus és gyakorlati megoldások etalonjai. Évkönyvünk rádióamatőr rovatában idén is jelentkezik *dr. Tolnai János* (HA5LQ), most egy kiváló NanoVNA készülék-ismertetővel.

Kedves Olvasóink! Lapunk 2021-es évkönyve széles témaválasztékához kellemesen hasznos időtöltést kíván a

Szerkesztőség

RÁDIÓTECHNIKA

»Árfelezős előfizető« akciónk 2021-re

2

A 2021-re szóló »**ÁRFELEZŐS ELŐFIZETŐ**« akciónkban Ön dönt, melyik kedvezményes lehetőséggel él az alábbiak közül:

1. LEHETŐSÉG: éves díj 17.400 Ft + a 2022-es Évkönyv novemberben 3000 Ft (+posta) díjért.

2. LEHETŐSÉG: éves díj csak 14.500 Ft, mert 2 lapszámot ekkor ingyenes küldünk.

(A lap ára előfizetésben 1450 Ft, nem előfizetéssel 1750 Ft! A 2022-es Évkönyv ára 4950 Ft lesz.)

Mindkét esetben vagy egy összegben, vagy fél évente egyforma részletekkel lehet előfizetni.

Rendeljen és küldjük a csekket! – Bankszámlánk: MKB 10300002 – 20151964 – 00003285.

Banki átutalásnál a közlemény rovatban szerepeltessük az „RT előfiz. 2021" szöveget.

Az előfizetési díjat **2020. december 15**-ig kérjük befizetni!

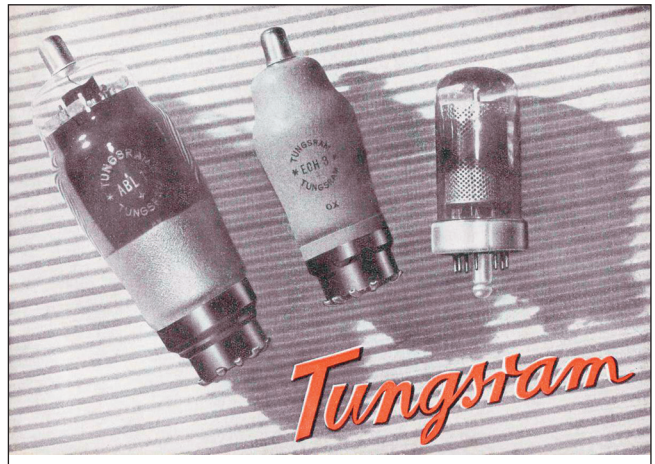
Rádióvilág Kft. 239-4932/32 m. 239-4933/32 m. 1550 Bp., Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu

A RÁDIÓTECHNIKA előfizetésben 17%-kal olcsóbb + az Évkönyv kedvezmény!

TUNGSRAM-krónika

**Írta: Gunter Crämer villamosmérnök,
gunter.craemer.nbg@web.de**

**Fordította: dr. Simoncsics László
okl. villamosmérnök,
simoncsics.laszlo@t-online.hu**



Tungsram–csőkatalógus az ötvenes évekből

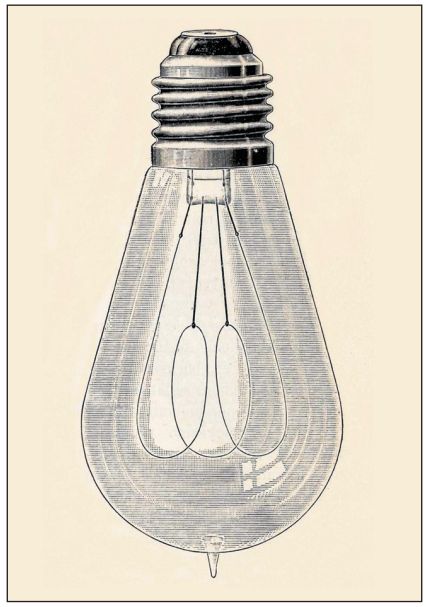
Minden rádiógyűjtő és rádióamatőr ismeri a Tungsram márkájú rádiócsöveket. Ellenben Nyugat-Európában kevéssé ismert, ki rejtőzött és rejtőzik még ma is a Tungsram márka mögött. Úgy vélik, a csövek gyártójának hazája valahol Csehszlovákia és Anglia között található. Következzen itt egy rövid krónika egy külföldi szemszögéből, akit családi kapcsolat fűz Magyarországhoz, valamint gyűjteményének jelentős része szintén Magyarországról származik. A cikk vázolja a Tungsram fejlődését a távírókat gyártó műhelytől a világítástechnikával és elektrotechnikával foglalkozó világkonszernig, jóllehet középpontjában a rádiógyűjtők számára fontos területek állnak.

Kezdetben volt az izzólámpa

A Tungsramnál is, mint vélhetően valamennyi rádiócsőgyártónál, az izzólámpagyártás szolgált a csőgyártás alapjául. A jó izzólámpák elengedhetetlen követelménye a jó vákuum előállítása, továbbá az üvegtechnika, a felhasznált anyagok és az üveg formálásának alapos ismerete. Sem az izzószálak gyártása, sem a kolloid wolframpaszta szinterezése és izzítása, sem a wolframszál húzása nem számít könnyű műveletnek. Mindezen területek önmagukban is kihívást jelentenek a mérnökök, technológusok és vegyészek számára. Ezen túlmenően az elektrotechnikához is érteniük kellett. Ez vezet el minket a Tungsram kezdeteihez.

A Tungsram anyavállalat alapítása Magyarországon

A bécsi Első Osztrák-Magyar Elektromos Világítási és Erőátviteli Gyár, a budapesti Egyesült Villanyossági Rt., valamint a Pesti Magyar Kereskedelmi Bank 1896. augusztus 1-jén megalapították az Egyesült Villamossági Rt.-t. Ez a vállalat a Tungsram törzse, amely állandóan új ágakkal gyarapodott, ezek tovább ágaztak vagy (ritkán) elhaltak. A tőkehiánnyal küszködő Villanyos Izzólámpagyárral történt összeolvadás után, 1897. június 30-ával került az izzólámpagyártás az Egyesült Villamossági Rt. profiljába.



Szénszálas izzólámpa az EIV Rt.-től, 1911

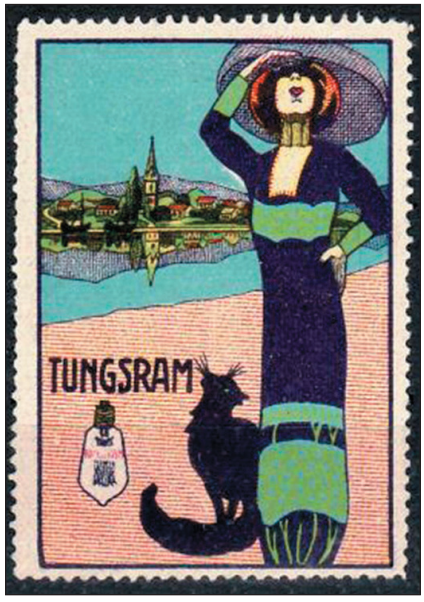
Eredetileg a Villanyos Izzólámpagyár az 1872-ben a Telegraphenbauanstalt Wien által Budapesten alapított műhelyből alakult, és 1896-ban kb. 200 alkalmazottal mintegy egymillió izzólámpát gyártott.

1899. július 1-jén az Egyesült Villamossági Rt. egy része kivált a részvénytársaságból és Ausztriában Vereinigte Elektrizitäts AG néven került bejegyzésre. Ez a rész Bécsben dinamókat, motorokat, transzformátorokat, felvonókat, elektromos járműveket és jelzőberendezéseket gyártott.

Budapesten maradt a távírók, telefonok, telefonközpontok, vasúti jelzőberendezések, kis dinamók, elektromos szerelőanyagok továbbá az izzólámpák gyártása.

A Tungsram és az izzólámpakartell

1901 végén a helyhiány az Egyesült Villamossági Rt.-t egy új telephely építésére és üzembe helyezésére késztette Újpesten. A 20. század elején az Egyesült Villamossági Rt. és más izzólámpagyárak által előállított izzók számának növekedése az árak csökkenését eredményezte. Az állandó áresés megakadályozására 1903 áprilisában a vezető európai izzólámpagyártók kartellt alapítottak és kontingenseket határoztak meg. A izzólámpák forgalmazása a berlini Egyesült Izzólámpa Kft.-n keresztül történt. A kartellben az AEG és a Siemens & Halske részaránya 22,633…22,633%, az Egyesült Villamossági Rt.-é 11,316%, a Philipsé 11,307% és további 8 gyártóé együttesen 29,761% volt. A kartell csak azokra az országokra terjedt ki, ahol a cégek honosak voltak, így nem volt érintett pl. Oroszország, Spanyolország, Japán, Kanada vagy Dél-Amerika. Ezekben az országokban szabadon lehetett értékesíteni. A kontingensen felüli eladásból származó nyereséget arányosan felosztották. Az izzólámpakartell meghozta a nyugalmat a piacon, így az Egyesült Villamossági Rt. nem kényszerült tovább a termelékenység növelésére, ha-



Tungsram-reklámbélyeg, kb. 1910

nem az izzók minőségének javítására fordíthatta figyelmét.

Az Egyesült Izzólámpa Kft. és a hozzáfűződő kartell 1903-tól 1914-ig állt fenn és leginkább a szénszálas izzólámpákra vonatkozott. A fémszálas izzókra történt átállás után a világ legnagyobb gyártói – új feltételekkel – új izzólámpakartellt hoztak létre, amely a „Phoebus kartell” nevet kapta a svájci Phoebus S.A. Genf részvénytársaság után, ahol a kartell adminisztrációs ügyeit intézték. A Phoebus kora legismertebb és legjobban szervezett kartellje volt. Ezt a kartellt manapság is sokat emlegetik az izzólámpák célzott élettartam-csökkentése miatt.

Miután Philips piaci helyzete időközben megerősödött, ráadásul még az USA-ban is tevékenykedett, magasabb részesedést kapott a Phoebus kartellben, míg a Tungsramé 5,6%-ra csökkent, vagyis gyakorlatilag megfeleződött.

Tungsram-wolframhuzallámpa hirdetés, 1906

A szénszáltól a fémszálig

1903. június 6-án *Alexander Just* és *Franz Hanamann*, mindketten a bécsi Műszaki Főiskola asszisztensei, szabadalmi bejelentést tettek wolfrámlámpa gyártására. Ezek az izzók állítólag 800 óra üzemidő után is megőrizték fényerősségüket. 1904. december 13-án a szabadalmat elfogadták. Az Egyesült Villamossági Rt. a szabadalom elfogadásának napján Justtól és Hanamantól az Osztrák-Magyar Monarchia részére licencet vásárolt. Az Egyesült Villamossági Rt. hajlandó volt az eladási árból 10% licencdíjat fizetni, és vállalta a wolfrámlámpák tömeggyártását. Miután a wolfrámlámpa gyártásánál eleinte nehézségek merültek fel, továbbra is szénszálas izzók kerültek forgalomba.

Az izzólámpagyártás jelentőségének hangsúlyozása végett 1906-ban az Egyesült Villamossági Rt. Budapesten az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. nevet vette fel (továbbiakban: EIV Rt.).

Miután az Egyesült Villamossági Rt. 1903-ban elkezdte a wolfrámlámpa gyártását, a cég 1909-ben bevezette Magyarországon, Ausztriában és Svájcban a Tungsram márkanevet. A Tungsram egy műszó, amely a magyar wolfrám – angol (tungsten) ill. német (Wolfram) – megfelelőjének összetételéből származik. A félig angol márkanév a vállalat nemzetközi terjeszkedését hangsúlyozta.

1909. július 14-én a bécsi kereskedelmi hatóságnál bejegyzésre került a Tungsram Izzólámpa és Villamossági Kft. A vállalkozás célja „mindenfajta lámpa előállítása és forgalmazása, különös tekintettel az izzólámpákra, valamint minden ezzel kapcsolatos és ezen célokat szolgáló melléktevékenység...”. Márkanévként a Budapesten éppen bevezetett Tungsram nevet jegyezték be. Ez a bécsi üzem a későbbiekben elektroncsöveket gyártott elsősorban az osztrák piacra, még a második világháborút követően is.

1909. július 19-én a Tungsram Izzólámpa és Villamossági Kft. egy svájci elárusítóhelyet nyitott Zürichben, a Brandschenkestraße 41-ben. Ez az üzlet 1920-ig működött.

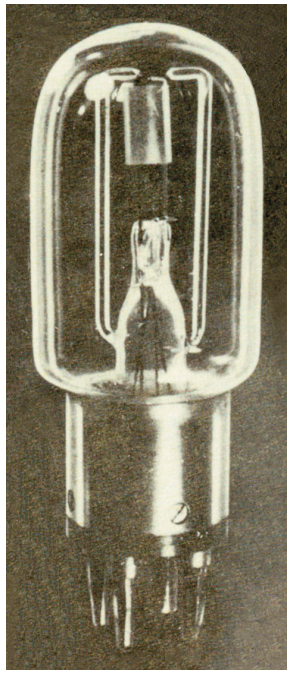
Ez csak két példa a Tungsram konszern külföldi terjeszkedésére. A cég tevékenységének nagyságát a krónika végén található táblázatok alapján ítélhetjük meg.

Az első elektroncsövek

Az első rádiócsöveket a Tungsram 1917-ben az Osztrák-Magyar Monarchia hadseregének KLERA nevű adóvevőjéhez egyedi gyártásban készítette. Ugyanebben az évben az EIV Rt. megvásárolta a varsói Elektrobanktól a CYRKON AG. (Zjednoczone Fabryka Zarowek Spolke Akczyjna) részvényeit. A Cyrkon márkanevet másodmárkaként a második világháború utánig használta a Tungsram.

1922-ben a Tungsram egy speciális csőlaboratóriumot (az ún. Audion-osztályt) létesített, és elkezdte a rádió-

A Tungsram Művek látképe Újpesten, kb. 1910



Cső a KLERA rádióhoz

csövek sorozatgyártását. A H2 és H3 típusjelzésű csövek 1923-ban jelentek meg a piacon. Ezek wolframszálas triódák voltak.

1924-ben a Tungsram több mint 15 millió izzólámpát gyártott és az MR2 és MR3 rádiócsöveket sorozatban készítette. Ezek az új csövek már tóriumos wolfrámkatódot tartalmaztak, amelyet 1600 fokra hevítve állítottak elő. Ezen csöveket telepes készülékekben is fel lehetett használni. Felépítésük inkább hasonlított az amerikai csövekéhez, mint az európaiakéhoz.

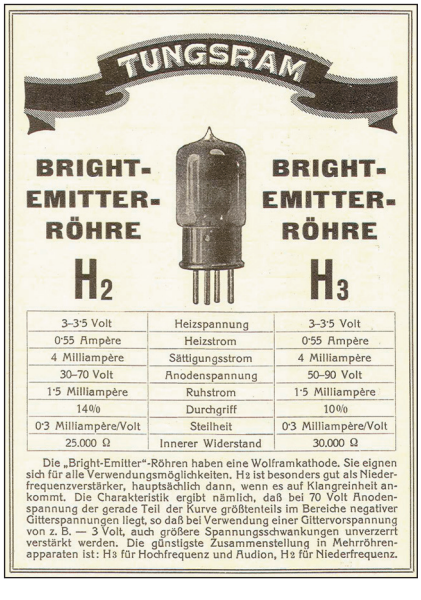
Az európai csőkonkurencia programjában az 1927/28-as években már báriumcsövek szerepeltek. A Tungsram rádiócső-laboratóriuma mindössze négy hónap alatt maga is kifejlesztette báriumcsöveit. Az első kivitel még drága platinakatódokkal készült, amelyet később vas-wolframmal helyettesítettek. Az új konstrukcióval – mint pl. a G409-es típus – a Tungsram ismét elérte a világszínvonalat. A rádiócsőgyártás mégis ráfizetéses volt. Az eladott csöveknél a veszteség az eladási ár közel két és félszeresét tette ki! A veszteséget elsősorban a célszerűtlen gyártási folyamat és a sok kézi munka okozta. Az EIV Rt. mégis szubvencionálta a csőgyártást, mert tudta, hogy jó úton jár, egy új épületben egy egész emeletet szentelt neki.

A Tungsram növekszik

Eddig a Tungsram-konszern tevékenységei közül csak a legfontosabbakat említettük. 1927-ben a Tungsram már sok bel- és külföldi céggel állt kapcsolatban. Az EIV Rt. 100%-os tulajdonosa volt a következő vállalatoknak: Elektrische Glühlampen Watt AG., Bécs; CYRKON, Varsó; Tokodi üveggyár Rt., Tokod; Klara Glashüttenwerke AG, Utekac/Szlovákia.

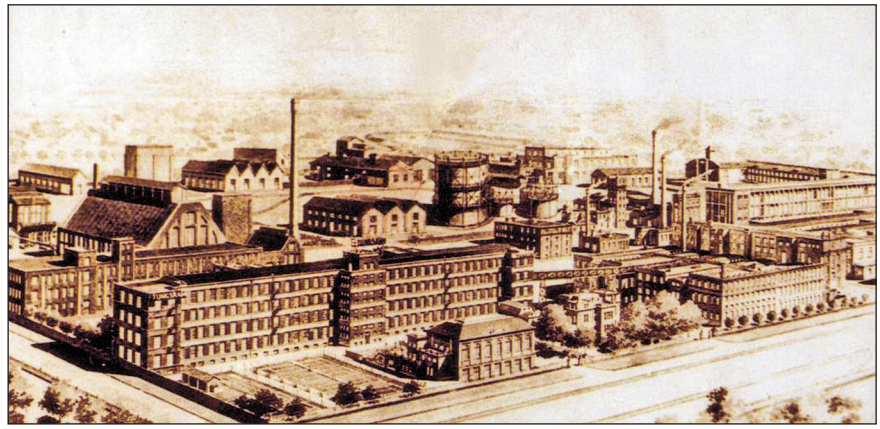
Az EIV Rt. érdekelt volt az alábbi vállalatokban: Telefongyár Rt., Budapest (többségi részesedése volt a Tungsramnak 1925. V. 2. óta); Standard Villamossági Rt., Budapest; DIAL Telefon Rt., Budapest.

Az EIV Rt. külföldön a következő forgalmazókkal rendelkezett: Tungsram Villamossági Rt., Pozsony; Tungsram Izzólámpa és Villamossági Rt., Prága; Tungsram Sähkö O.Y., Helsinki; Tungsram Elektricitates Aktienskab, Koppenhága; Minora

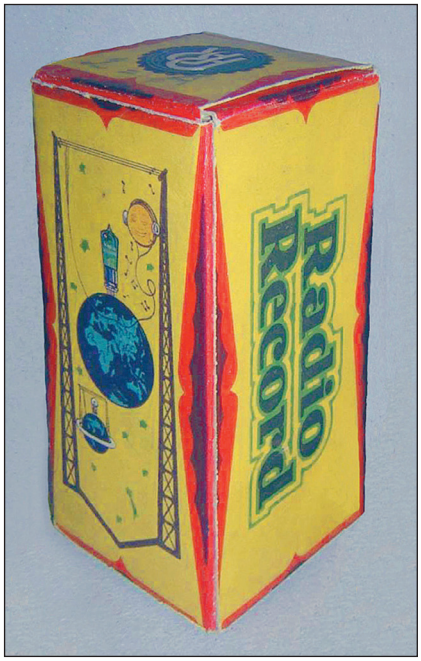


H2 és H3 csövek egy Tungsram-prospektusból, 1925

Tungsram Kónusz-hangszóró és MR-csövek hirdetés, 1927



A Tungsram-gyár Újpesten, kb. 1929



Radio Record csődoboz

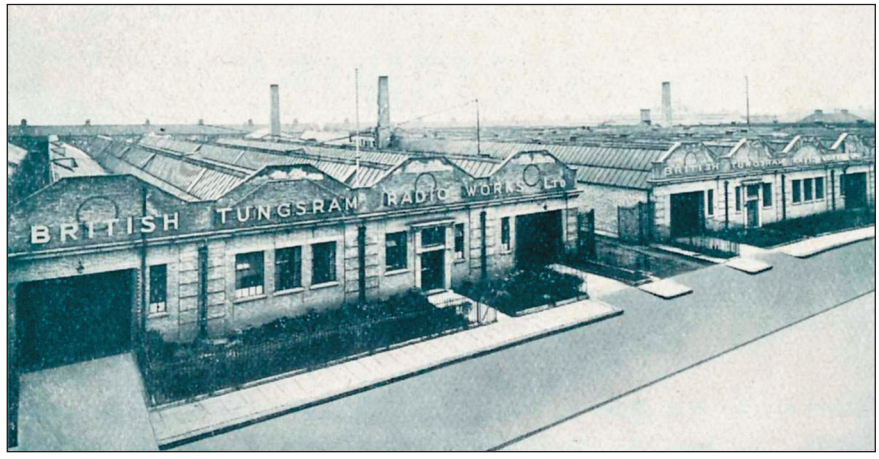
Société á Résponsabilité Limitée, Párizs; Sociedad Tungsram Fabrice de Lámparas Incasdescencia, Madrid; Tungsram Elektrizitäts AG. Zürich.

Az 1920-as évek végén a Tungsram a rádiócsőgyártásban a vákuum előállításának technológiáját megújította azáltal, hogy a rotációs pumpát diffúziós szivattyúra cserélte, valamint magnézium-getter anyagot vezetett be. 1929-ben a rádiócsövek gyártását 642 ezerre növelte, 1930-ra 1123 ezerre, és 1931-ben majdnem kétmillióra.

A Tungsram külföldön

Miután a Philips már 1928-ban átvette a Vatea-t, egy kisebb magyar rádiócsőgyártó céget, az üzem egy nagyobb gyártelepre költözött. A Tungsram ennek ellensúlyozására a Gloeilampenfabriek Radium átvételével gyártelepet létesített a hol-

Levélboríték valamennyi Tungsram által Ausztriában használt márkanévvel, 1935



British Tungsram Művek Londonban, 1939

landiai Tilburgban. A rádiócsöveket Radio Record név alatt forgalmazták. Németországban a DM300 típusjelű tértöltésrácsos, zseblámpaelemekkel működő Radio Record-cső vált különösen ismertté a Kosmos cég által forgalmazott „Radiomann" nevű rádióbarkácskészlet révén. A harmincas évek végén a Radio Record gyártott néhány különleges kapcsolású Tungsram-rádiótípust, amelyek nyilvánvalóan a Philips hollandiai szabadalmainak megkerülésére szolgáltak.

A bécsi Elektrische Glühlampenfabrik Watt AG, a Tungsram egyik leányvállalata 1931. március 15-én megszerezte Johann Kremenezky bécsi üzemének többségi részvényeit, és ezáltal annak magyar fióküzemét, a Magyar Wolframlámpagyár Kremenezky János Rt.-t (továbbiakban MWLGY Rt.), valamint ennek forgalmazóját, az Oriont. A cég Magyarországon formálisan független maradt, és továbbra is Orion márkanéven forgalmazott. A Watt AG Bécsben rádióalkatrészeket gyártott Sator és rádiócsöveket Orion, Sator és Tungsram márkanév alatt. A bécsi cég a harmincas évek végéig a többi márkával párhuzamosan Kremenezky bel- és külföldön ismert, jól hangzó nevét is használta, még annak halála, 1934 után is.

A Tungsramnak, miután megvásárolta az Oriont, Magyarországon már csak egyetlen jelentős konkurenciája maradt a csőpiacon, az 1928 óta a Philips tulajdonában levő VATEA.

A kartellegyezmények által korlátozott csőeladási számok következtében a Tungsram Ausztriában segédmárkák mint pl. King, Novis stb. feketepiacot teremtett magának. A segédmárkák felismerése nyomozói szimatot igényel, össze kell hasonlítani a különböző márkák gyártási sajátosságait és a csöveken belüli jeleket. Irodalmi bizonyítékok természetesen nincsenek.

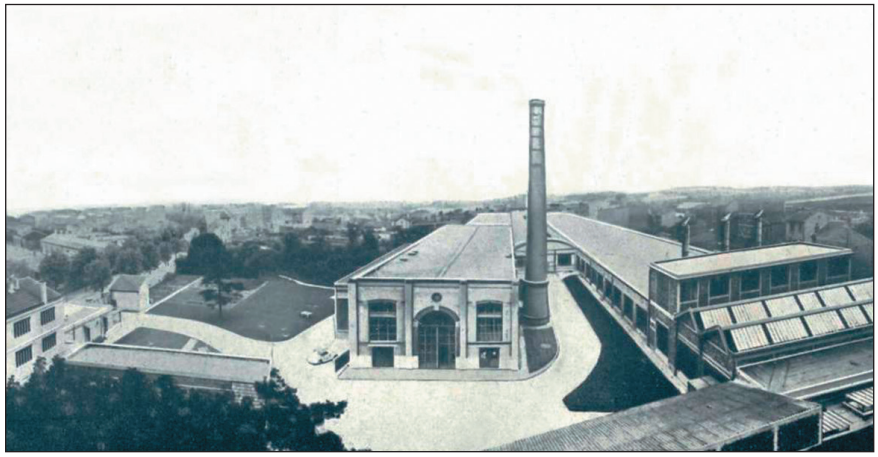
1933-ban Angliában a British Tungsram Radio Works Ltd.-t, mint a budapesti EIV Rt. telephelyét regisztrálták. A második világháború alatt itt csöveket gyártottak saját (angol) anyagokból katonai célokra. A csöveken kiegészítő bélyegzésként található a BTRW „British Tungsram Radio Works".

Franciaországban a Tungsram Gennevilliers-ben elsősorban izzókat gyártott és egy jól kiépített értékesítési hálózatot tartott fenn. A „Memento Tungsram" francia kiadványsorozatban Roger Crespin 1937-től a háború utánig műszaki adatokat publikált a Tungsram Franciaországban kapható termékeiről, valamint információkat a Tungsram angliai, franciaországi és magyar telephelyeiről.

Együttműködés az RCA-val

1932-ben a elektroncsőgyártás új gyártásvezetője a Tungsram technológiáját

Angol Tungsram-cső



Tungsram gyár Gennevillersben Franciaországban

„standardizált amatőrizmusnak” nevezte. A csövek 25%-a a gyártás során eltörött, 40%-a nem korrekt módon volt szerelve, a csövek elektromos adatai szórtak és a kézimunkahányad túl magas volt.

1933-ban a Tungsram ezért egy szabadalmi-/licencszerződést kötött az RCA-val, amelynek értelmében amerikai gyártóberendezések is érkeztek Budapestre. Kezdetben a csöveket amerikai minta nyomán készítették (pl. 2A7 típus), később a gépeket átállították az európai csövek gyártására. Az RCA-val kötött szerződés keretében többek között ún. „Standardizing Notices” (Szabványosítási jegyzetek) érkeztek az RCA-tól a második világháború kezdetéig. Az RCA-val kötött együttműködés jelentősen megerősítette az EIV Rt. pozícióját a Telefunkennel és a Philips-szel szemben.

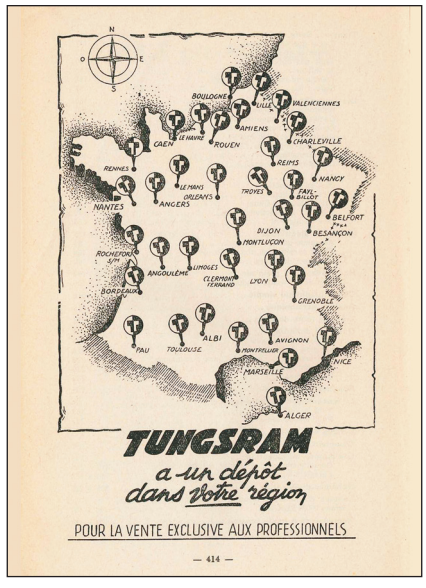
Tungsram adócsövek

1933/34-ben a Tungsram adócsövekkel kezdett foglalkozni egy jó üzlet reményében a Magyar Postával, amely reléadóit magyar gyártmányú csövekkel kívánta felszerelni. Az üzlet a Postával nem jött létre, ennek ellenére az adócsőgyártást tovább folytatták és exportálni is tudtak. A harmincas évek végére 30-35 típusból 10 000…12 000 adócsövet termeltek.

A Tungsram és a csőkartell

1933/34-ben Németországban a WIRUFA lobbiszervezet és a Rádiószövetség kampányt indított a Tungsram csövek ellen. A Tungsram a magyar kereskedelmi miniszter közbenjárását kérte, hogy tárgyalásokat folytasson Németországban követelve a kampány befejezését. Ez a közbelépés késztette a Telefunkent arra, hogy a Philipset a Tungsrammal való kooperációra kényszerítse, mivel Tungsram

Hirdetés a Tungsram Mementó kiadványból, 1937 (7 gyár Európában, 250.000 izzólámpa és cső naponta)



Tungsram kereskedelmi hálózata Franciaországban, 1949

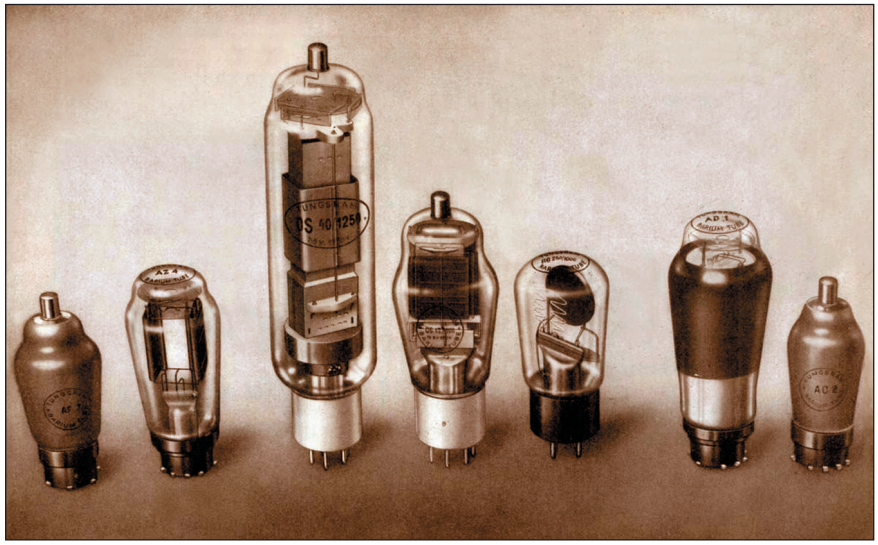
Tungsram-cső, kb. 1935

a már a Telefunken és Philips között fennálló WEWAG-kartellhez szándékozott csatlakozni. Az EIV Rt.,

Tungsram-hirdetés, 1936

Philips és Telefunken 1934. július 14-én előkészítettek a „Chateau d' Ardenne” nevű előszerződés alapján egy kartellmegállapodást, amelynek

Tungsram-reklám a lakihegyi adótoronnyal, 1940



Részlet egy Tungsram-csősorozatból, 1940

értelmében a Tungsram a WEWAG kartellhez csatlakozik. A tényleges kartellszerződést csak sokkal később, 1936. július 5-én írták alá. Ezzel megalapították az IRAVCO-t (International Radio Valve Cooperation, Nemzetközi Rádiócső Együttműködés). A szerződést visszadátumozták 1934. május 1-jére és érvényben kellett volna maradnia 1945. június 30-ig. A kartell az eladási kvótákat szabályozta, továbbá a kvóta túllépésére, ill. nem teljesítésére vonatkozó kiegyenlítési és büntetési elszámolást. A Tungsram kontingense 12% volt szemben a két másik szerződő partner 88%-ával. Ez a Tungsram számára mégis 200 000 cső többlet-eladását jelentette. A kartell hatásköre nem terjedt ki Franciaországra, Angliára, Spanyolországra, Észak-Írországra, az USA-ra, Kanadára, Új-Funlandra, Kubára, Japánra, valamint ezen országok gyarmataira. A Telefunken ekkora már nagy belső piaccal rendelkezett, így a többi piacon elsősorban a Philips és a Tungsram között volt nagy a konkurencia. A kartellegyezménynek pozitív hatása volt a szabadalmi kooperáció mellett a csőtípusok szabványosítása, amely lehetővé tette, hogy a három gyártó szabványosított csöveit valamennyi rádióban fel lehetett használni. Eleinte (kb. két évig) a Tungsram az európai sorozatú csöveinél a típusjelzés elé még egy T betűt tett (pl. TAK2, ahol AK2 típusjelzés volt a többi gyártónál). A szabványosítás következtében megszűnt a Tungsramra nehezedő nyomás, már nem kellett állandóan új csőtípusokat kifejleszteni, mert azok a Philipstől és a Telefunkentől szó szerint „jöttek". Ennek megvolt az ára, az EIV Rt. minden eladott csőért a védett országokban 5%-ot, a nem védett országokban 2,5%-ot fizetett a Philipsnek, illetve a Telefunkennek.

Orion rádió reklám, 1940

A kartell hatáskörén kívül estek a fotocellák, a higanykatódos csövek, a katódsugárcsövek, a gáztöltésű csövek és a kép által szinkronizált hangvisszaadó csövek.

Tungsram és Orion rádiók

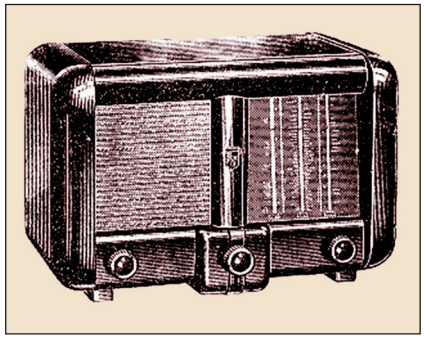
1925 és 1929 között a Tungsram három rádiótípust és egy kónusz-hangszórót vitt piacra. Ezeket Western szabadalom alapján építették és Western-Tungsram márka alatt futottak. Majd a Tungsram két évre visszavonult a rádiópiacról a bécsi üzem átvételéig. 1931-ben a bécsi Kremenezky részvénytársaság megvásárlásával az Orion révén a Tungsram kínálata a rádiók komplett palettájával - a detektorostól a négykörös, egyenes rendszerű hálózati vevőkig - bővült, ezen túlmenően az Orionnal, új leányvállalatával a magyar piac főszereplője lett. Az Orion rádiókat a Tungsram gyár területén gyártották. A gyártott rádiók darabszámának megnövekedéséből és az Orion csőgyártásának leállításából a Tungsram csőgyártása profitált. A rádiókhoz szükséges csöveket ugyanis közvetlenül az anyavállalat szállította.

1930-tól 1963-ig az Orionnak mintegy 400 főtípusa volt, majd átállították profilját televíziókra és mikrohullámú technikára. A hetvenes/nyolcvanas években az Orion még egy kísérletet tett a magyar piacon nagy értékű HIFI berendezésekkel.

A dániai Horsensben volt eredetileg az Arena-nak egy gyára, amely később a Rank-szervezethez került. Miután a Rank kivonult a vállalatból, a munkások átvették a céget és Tungsram érdekeltséggel Tungsram-3F név alatt 1979-ben egy HIFI vevőt gyártottak. A Funktechnik c. folyóirat ezt a készüléket DANSK HI–FI néven említette.

Az EIV Rt. 1938-ban Pozsonyban alapított egy rádiógyárat, ahol a budapesti Orion alkatrészeiből rádiókat szerelt össze. A készülékeket a Tungsram vitte piacra. A típusnévben többnyire az Orion szerepelt, elektromos felépí-

Hifi-vevő a Tungsram-3F-től



151-es típusú Tungsram-rádió Pozsonyból

tésük megfelelt a magyar Orion típusoknak. A háború után a TESLA vette át az üzemet.

A Tungsram és a magyarországi rádiókartell

1933. február 15-én az EIV Rt., ill. leányvállalata a MWLGY Rt. (Orion), valamint a többi magyar rádiógyártó – Standard, Telefongyár, EKA, Siemens, Telefunken és Philips – kartellt hoztak létre, amelyben megállapodtak az árakról, árengedményekről, a részletfizetés és a garancia feltételeiről a magyar piacon.

1936-ban a kartellszerződést megújították az Orion, a Philips és a Telefunken között, még a következő évi rádiótípusok fontosabb adataiban is megállapodtak. Ennek a megállapodásnak az az érdekessége, hogy a Philipsnek Magyarországon gyártott típusaiba a csöveket a Tungsramtól kellett beszereznie.

Német Tungsram-csőkatalógus, 1939/40

Tungsram elektroncsövek a háború idején

1939-ben a Tungsram a Németországban ismert valamennyi csőtípust gyártotta, beleértve az ún. „piros csöveket" is, amelyek Ausztriában (akkori német nevén Ostmark) nagyon elterjedtek voltak. Különlegességnek számítanak a gyűjtők által ritkán fellelt acélbúrás UCL11, valamint a még ritkább kis D25-ös sorozat. Ezeket vélhetőleg ügynökrádiókban történő felhasználásra készítették, és a normál Philips/Valvo gyártású D25-ös csövekhez viszonyítva kisebb üvegbúrával és lábkör-átmérővel rendelkeztek. A fűtéshez használt wolfrámhuzal átmérője csak 11 um volt. A fél fűtőáram kivételével a kis D25-ös csövek elektromos adatai a normál csövekének feleltek meg. Ezeket a csöveket a Tungsram nem reklámozta, ennek következtében nem sokat tudni róluk. A csöveket a Tungsram leányvállalata, az Orion az 1940/41-es szezonban két telepes rádióba építette be, valószínűleg a raktárkészlet csökkentése érdekében. A háború végén a maradék készlet listája egy rádióamatőröknek szánt magyar katalógusban volt fellelhető.

A negyvenes évek elején az IRAVCO-kartellpartnerek által évente kibocsátott 10-15 új csőtípus a Tungsramot nehézségek elé állította, ugyanis a cég alig tudta az új típusokat gyártásba venni és rövid időn belül gazdaságosan termelni.

1944 előtt a Tungsramnál egy szigorúan titkos, légvédelmi tüzérségi lokátort fejlesztettek ki Borbála fedőnév alatt, de ezt a hadsereg 1944-ben már alig tudta bevetni. A második világháború vége felé Magyarországon, a Harmadik Birodalommal szövetséges országban, még kísérlet történt a német hadsereg számára rádiócső-gyártási kapacitás megteremtésére. 1944-ben a Tungsram tervbe vette a RV12P2000-es német Wehrmacht csőtípus gyártását és készített egy 4000 darabos előszériát. A szovjet csapatok bevonulása 1945 elején véget vetett minden ilyen tevékenységnek és a politikai változásoknak megfelelően kellett a termelést újraindítani.

Egy Tungsram-krimi

A harmincas években a magyarországi székhelyű EIV Rt. több külföldi gyárat és kereskedelmi képviseletet alapított, amelyek nagyon jövedelmezőek voltak. Az első világháború után az akkori Tungsram-üzemek az Antant (győztes hatalmak) ellenőrzése alá kerültek, melyeket nagyon nehéz volt visszaszerezni. Azért, hogy ez egy küszöbön álló (Ausztriát éppen Németországhoz csatolták) következő háborúban ne következhessen be, az EIV Rt. 1938. szeptember 7-én átruházta külföldi gyárait és eladási képviseleteit egy, a semleges Svájcban székelő holdingra, a Société Anonyme Participations Industrielles et Valeurs-re (Ipari Érdekeltségi és Értékpapír Rt.), a továbbiakban SAPIV. A kilenc leányvállalatért az EIV Rt., valamint annak a svájci képviselete, a Tungsram Elektrizitäts AG összesen 1,6 millió svájci franknak megfelelő értékben adott át részvényeket a SAPIV-nak. A transzfer bizalomra épült, így az EIV Rt. nem kapott pénzt a részvényekért. A SAPIV azonban az EIV Rt. részére visszavásárlási jogot biz-

Svájci Tungsram-reklám, 1943

Hirdetés Tungsram külképviseletekkel, 1955

tosított azonos feltételek mellett 1943. december 19-ig. Ezt az opciót később meghosszabbította 1950. december 31-ig. A holdingba történt átvitellel nem változott az EIV Rt. és leányvállalatai közötti kapcsolat. A Tungsram márkát tovább használták.

A háború további alakulásával a Tungsram részéről felmerült a veszélye annak, hogy Németország Svájcot is elfoglalhatja. Ezért a külföldi társaságok további tranzakcióját készítették elő. A SAPIV átvitte a tulajdonát egy londoni székhelyű holdingba. Ez egy ITT-érdekeltség volt, amely vállalattal a Tungsram igazgatója jó viszonyban állt. A General Electric-től három stróman (két angol és egy amerikai) volt a holding tulajdonosa. Ez az angol jog szerint illegális transzfer – háborús ellenfelek tulajdonjogát védték! – nem sikerült, s a holding megőrzésre a Custodian of Enemy Property-hez (Ellenséges Tulajdon Kezelőhöz) került. A Párizsi Békeszerződés értelmében az Angliában zárolt tulajdon eladható volt, amennyiben angol vagyonról volt szó. A holding három tulajdonosa felesküdött arra, hogy a vagyon angol származású. Végül, 1949 áprilisában a Tungsram külföldi társaságait a SAPIV-nak visszaadhatták – de csak azzal a feltétellel, hogy ezt egy valamikori ellenséges üzemnek, azaz az EIV Rt.-nek nem szabad továbbadni.

Ennek az angol kívánságnak megfelelően a Tungsram SA Paris közreműködésével, a British Tungsram Radio Works Ltd.-ből, a Tungsram SA Paris-ból, a Tungsram SA Milanóból és a Radium Tillburgból Párizsban egy új igazgatóságot alapítottak, amely később a teljes SAPIV-csoportért felelős volt. A magyar Pénzügyminisztériumban természetesen nem örültek annak, hogy gyakorlatilag semmi esély nem volt arra, hogy a Tungsram külföldi vállalatait visszakapja. Alig vigasztalta őket a tény, hogy a külföldre menő anyagszállításokért deviza jött Magyarországra. A leányvállalatok gyakorlatilag a General Electric-hez tartoztak párizsi székhellyel. A GE-el szemben az EIV Rt.-nek eljárni veszélyesnek tűnt, mert egy estleges eljárás során ellenlépésként szabadalomsértés miatti ellen-eljárásra (haditechnikai gyártás a háború alatt!) lehetett számítani. Az eset lezárásaként 1952-ben egyezségre jutottak a SAPIV-val, amelyben az EIV Rt. négy külföldi üzeme részvényeiről lemond, ellentételezésül az EIV Rt. megkapja részvényeit a SAPIV-tól. A SAPIV megtartja ezenkívül a TUNGSRAM márka használati jogát.

1945-1950 a szocialista országokban található Tungsram-társaságokat, amelyek közül a háború alatt csak a varsói izzólámpagyárat („Cyrkon”) rombolták le teljesen, államosították. Mivel az államosító országok „baráti” államok voltak, kilenc vállalatról kártérítési követelések nélkül lemondott Magyarország. A fennmaradt öt, kapitalista befolyási területen lévő külföldi társaság: a stockholmi Svenska Orion, a bécsi Watt AG., a zürichi Tungsram AG és két átmenetileg bezárt képviselet Buenos Airesben és Kairóban.

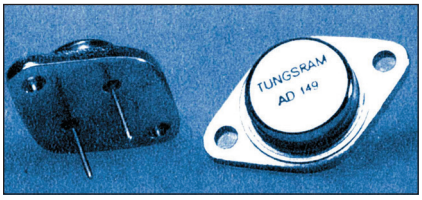
A Svenska Orion részvényeinek 100%-a, amely az EIV Rt. tulajdonát képezte, bankletétben feküdt Stockholmban. A svéd jog szerint a magyar államosított Orionnak csak akkor lehetett volna a részvényeket visszaadni, ha a részvényeseket kártalanítják és a hitelezőket kielégítik. A részvényekkel kapcsolatos, évekig elhúzódó jogi vita után a Svenska Orion mégis magyar kézben maradt, és 1950-től az Elektroimpex külkereskedelmi szervezet kezelésébe került. 1948-ban az EIV Rt. Svédországban fióküzemet létesített évi 500 000 izzólámpa és 200 000 rádiócső előállítására, az Orion Fabriks och Försöljnings AB-t Södertälje-ben.

Miután a második világháborúban a bécsi Watt AG üzeméből csak egy épületet romboltak le, a jól felszerelt gyár működésképes maradt. 1947-ben az amerikai megszálló hatóságok a vállalatot, mint ellenséges tulajdont, zár alá vették az Osram részesedése miatt és Ausztriában lévő német tulajdonnak minősítették. A részvények 100%-ban az Österreichische Landesbank letétjébe, ezáltal állami tulajdonba kerültek. Az elkövetkező hosszú jogvitákban az EIV Rt. megkísérelte a Watt-részvények magyar részét visszakapni.

Svájcban, a zürichi Tungsram AG. részvényei gond nélkül magyar tulajdonban maradtak. 1948 táján az EIV Rt. alapított egy izzólámpa-szerelő üzemet a Genf melletti Carouge-ban. A többségi 51%-ot az EIV Rt. tartotta meg, a maradékot egy genfi tőkekonzorcium birtokolta. A negyvenes évek végén a zürichi Tungsram AG átadta az operatív üzletet az új cégnek és a továbbiakban, mint a kairói, a barcelonai és a berlini képviseletek holdingja működött.

Újrakezdés a háború után

1945 februárjában a szovjet csapatok felszabadították Budapestet. 1945 márciusától májusig az újpesti Tungsram teljes berendezését leszerelték. 300 000 rádiócsövet és 1 millió izzólámpát 700 vasúti kocsiban külföldre szállítottak. Az üzem újraindítása néhány, a szovjetek elől az árvíz által elrejtett gépre és a vállalat munkavállalóinak töretlen tenni akarására épült. Még otthonról is vittek szerszámokat, hogy a megmaradt berendezéseket megjavítsák és a leszerelt gyártóberendezéseket mielőbb pótolják.



Tungsram-germániumtranzisztor

1945 júliusában már naponta 3500 izzólámpát gyártottak. A rádiócsőgyártás néhány darabbal indult augusztusban, csak 1945 novemberében érték el a napi 1000 darabot. Az 1945/46-os üzleti évben a csőgyártás a háború előttinek szűk egyharmad részét érte el.

Tungsram-félvezetők

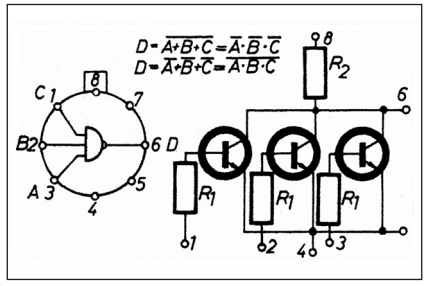
A Tungsram 1953-ban kezdte meg a félvezetők fejlesztését és először germánium diódákat gyártott. 1958-ban kezdődött az ötvözött germániumtranzisztorok sorozatgyártása, amely 1962-ben az évi egymilliót érte el. 1967-ben kezdődött a szilícium planártranzisztorok gyártása. Az integrált félvezető áramköröket 1969-ben vették programba.

Az elektroncsőgyártás vége Magyarországon

– 1971. A Tungsram legyártja a 250 milliomodik csövet, egy PL508-at.
– 1975. A Tungsram 17 millió csövet gyárt évente, a legtöbbet a gyár történetében.
– 1976. A csőgyártás rohamosan csökken a félvezetők elterjedése miatt.
– 1980. Budapesten leállítják a vevőcsövek gyártását.
– 1986. A vevőcsövek gyártásának vége a kaposvári gyáregységben.
– 1992. Leállítják az adó-mikrohullámú- és a képcsövek gyártását.

A Tungsram ma

A General Electric egy interneten található prezentációja szerint a Tungsramnak az 1980-as évek végén több problémája volt. Elsősorban a világítási cikkekre koncentrált, ezért az innovációs hányad kicsi volt, és az új termékek bevezetése kb. 3 évig tartott. A nyersanyagokból felhalmozott készlet túl nagy volt, a konszern értékesítési helyein sok volt az eladatlan áru. További gondok: a pazarlás és a sok selejt miatti veszteségek, bürokrácia, rossz belső kommunikáció a túlságosan magas 11 000-es létszám, a tőkehiány.



Az egyik első Tungsram-IC: µL 709

A General Electric ebben az időben terjeszkedett és gyártási profilját bővítette, ezért 1989-ben a Tungsram többségét átvette. A Tungsram tudományos szakértelme és a szabad kibontakozás lehetősége a vállalatnál a tervgazdálkodásból a kapitalizmusba történő átmenet idején a GE-t arra késztette, hogy Európában a piaci részesedését kiépítse. A GE több millió dollárt fektetett be, különösen a modern sorozatgyártásba a Tungsramnál, nyugati vezetési stílust honosított meg és munkahelyeket épített le. Ezekből adódóan a Tungsram az alacsony bérköltségeknek és a magas exporthányadnak köszönhetően (állítólag a Tungsram volt az elsődleges izzólámpa-szállítója a világszerte előállított autók kétharmadának) évente nagy nyereséget hozott a GE konszernnek.

1994-ben a GE teljesen átvette a Tungsramot. 1995-ben a GE európai gyártásának 90%-a Magyarországon folyt és a GE a többi nyugat-európai

TUNGSRAM™

Új Tungsram-logó

vállalkozását bezárta. 1996-ban a nevét GE Lighting Tungsramra változtatta.

A 2008-as pénzügy krízissel kezdett leáldozni a GE csillaga, a nyereség drasztikusan csökkent. 2009 végén Magyarországon a 11 000 alkalmazottból 2700-at el kellett bocsátani, egyedül a nagykanizsai üzemből 1500-at két év alatt. Az EU izzólámpa-eladási tilalma miatt az izzólámpagyártást leállították.

2017-ben a GE konszern egy nagy átstrukturálási programot határozott el, amelynek értelmében az alapvető kompetenciájukra összpontosítanak és egyes konszernrészeket értékesítenek.

2018 áprilisában a General Electric eladta európai, közel-keleti, afrikai és török világítási üzletágát, valamint az egész világra kiterjedő, autóvilágítással foglalkozó üzletágát az ún. Tungsram csoportnak. A megállapodás nem terjedt ki az észak-amerikai üzletre, a kommerciális LED-világítási üzletre, valamint a többi GE Lighting üzletágra.

A vevő és a cégvezető Jörg Bauer, aki korábban a GE magyar képviseletének elnöke volt. Átmenetileg a GE márkát használták, fokozatosan ismét a Tungsram márkára térnek át. A valamivel több mint 4000 magyar alkalmazott 5 telephelyen dolgozik tovább:

A Tungsram igazgatósági épülete Újpesten, 2019

Tungsram-katalógus, 1964

– Budapest/Újpest: igazgatósági központ és világítási eszközök gyártása,
– Nagykanizsa: világítási eszközök gyártása és logisztikai központ,
– Kisvárda: halogén- és autólámpagyár,
– Zalaegerszeg: alkatrészgyár,
– Hajdúböszörmény: alkatrészgyár.

* * *

Ez volt a magyar Tungsram krónikája. Sok más vállalattól eltérően, melyek a magyar politikai fordulat zűrzavarában 1989 után eltűntek, a Tungsram a GE-vel lejátszódott közjáték után tovább írja történetét és „fényes jövő" áll előtte.

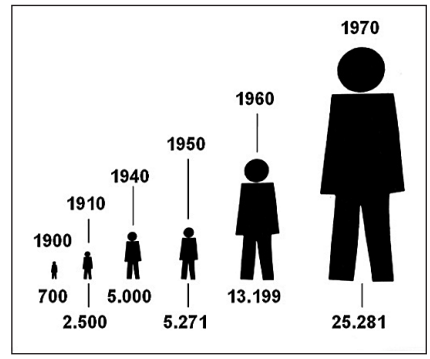
A Tungsram egy rádiógyűjtő szemszögéből

Mint már említettem, a Harmadik Birodalom kezdetén Németországban sajtókampány indult a Tungsram-csövek ellen, mert mind a magyar cégvezetés, mind a német kereskedelmi rendszer zsidó kézben volt. A kartellmegállapodás szerint a német rádiók első csövezésénél a Tungsram csöveit nem használták. Ezzel a Tungsram Németországban végig rossz hírű márka volt.

A szerző maga nagyszámú új és használt Tungsram csövet birtokol és ezek – legalábbis az első osztályúak – eddigi vizsgálata alapján semmi lényeges különbséget nem tudott megállapítani más gyártók csöveihez képest. A csőgyártás technológiáját a harmincas évek kezdete óta olyan szinten értették a Tungsramnál, hogy mind a mechanikai, mind az elektromos paraméterek meglehetősen stabilak voltak. A GE-vel való együttműködés során a Tungsram gyártástechnológiája mindig is az élen volt. Az 1930 előtti csövekkel pedig a többi gyártónak is hasonló problémái voltak: néha a csövek átlagon felül gyengék voltak, néha vákuumproblémájuk volt, másszor üvegrészek törtek le az üvegtestből, és zörögtek a még működésképes csövekben. A szerző nem készített ugyan statisztikát, de a következőt kijelentheti: a Tungsram csövek egyenrangúak a többi európai gyártóéval. A róluk alkotott rossz kép érthetetlen.

Összegzés

A szerző örömmel vette, hogy a Tungsram Csoport új vezetése a vállalat történelmi örökségét jelentős értéknek tekinti és – pénzügyileg és személyileg elkötelezetten – vállalattörténeti gyűjteményt kíván létrehozni. A szerző ezt a krónikát, az általa összegyűjtött ismereteket a Tungsram ezen projektje rendelkezésére bocsátja és reméli, hogy ez a krónika lökést ad a magyar gyűjtőbarátoknak ahhoz, hogy a Tungsramhoz kötődő tudásukat és a birtokukban levő anyagokat a Tungsramnak továbbadják, ezzel segítve e projekt sikerét. A Tungsram részéről felelős kapcsolattartó személy *dr. Hidvégi Mária*, e-mail: maria.hidvegi@tungsram.com. Telefon: (+36-70) 503-0826.



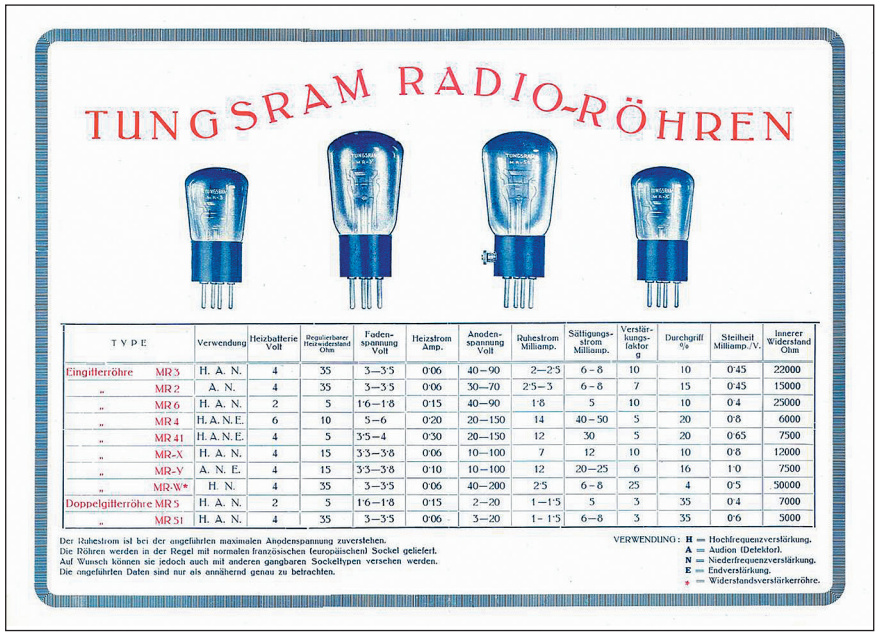
Az alkalmazottak számának növekedése 1970-ig

A szerző köszönetnyilvánítása

A feleségem, Éva fordítói segítsége nélkül ez a krónika nem jöhetett volna létre. Simoncsics Lászlónak köszönöm a magyarra fordítást és dr. Hidvégi Máriának a kritikus áttekintést.

Függelék

A Rádiócsőgyártás éves darabszámát 1925-től 1975-ig az **1. táblázatból** olvashatjuk ki. A Tungsram alkalmazottainak száma Magyarországon a cég alapításától 1940-ig lassan, de állandóan emelkedett. 1960 és 1970 kö-

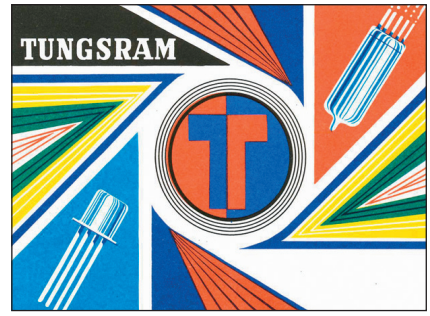


TYPE		Verwendung	Heizbatterie Volt	Regulierbarer Heizwiderstand Ohm	Fadenspannung Volt	Heizstrom Amp.	Anodenspannung Volt	Ruhestrom Milliamp.	Sättigungsstrom Milliamp.	Verstärkungsfaktor g	Durchgriff %	Steilheit Milliamp./V.	Innerer Widerstand Ohm
Eingitterröhre	MR 3	H. A. N.	4	35	3—3·5	0·06	40—90	2—2·5	6—8	10	10	0·45	22000
„	MR 2	A. N.	4	35	3—3·5	0·06	30—70	2·5—3	6—8	7	15	0·45	15000
„	MR 6	H. A. N.	2	5	1·6—1·8	0·15	40—90	1·8	5	10	10	0·4	25000
„	MR 4	H. A. N. E.	6	10	5—6	0·20	20—150	14	40—50	5	20	0·8	6000
„	MR 41	H. A. N. E.	4	5	3·5—4	0·30	20—150	12	30	5	20	0·65	7500
„	MR-X	H. A. N.	4	15	3·3—3·8	0·06	10—100	7	12	10	10	0·8	12000
„	MR-Y	A. N. E.	4	15	3·3—3·8	0·10	10—100	12	20—25	6	16	1·0	7500
„	MR-W*	H. N.	4	35	3—3·5	0·06	40—200	2·5	6—8	25	4	0·5	50000
Doppelgitterröhre	MR 5	H. A. N.	2	5	1·6—1·8	0·15	2—20	1—1·5	5	3	35	0·4	7000
„	MR 51	H. A. N.	4	35	3—3·5	0·06	3—20	1—1·5	6—8	3	35	0·6	5000

Der Ruhestrom ist bei der angeführten maximalen Anodenspannung zuverstehen.
Die Röhren werden in der Regel mit normalen französischen (europäischen) Sockel geliefert.
Auf Wunsch können sie jedoch auch mit anderen gangbaren Sockeltypen versehen werden.
Die angeführten Daten sind nur als annähernd genau zu betrachten.

VERWENDUNG: H = Hochfrequenzverstärkung. A = Audion (Detektor). N = Niederfrequenzverstärkung. E = Endverstärkung. * = Widerstandsverstärkerröhre.

Tungsram-csőprospektus, 1927



Tungsram-QSL-kártya

zött megduplázódott. A Tungsram-konszernek részletes adatait az **2. táblázat** tartalmazza.

Felhasznált Irodalom

A Tungsram Rt. Története;
Tungsram kétkötetes cégtörténete, Budapest, 1987
A Tungsram Rt. Története;
Aschner Lipót Alapítvány kiadása, Budapest, 2004
Tungsram 75, német nyelvű cégtörténet; Tungsram kiadvány, 1971
Sugár Gusztáv: Megszólal a rádió; Budapest, 1993
Österreichisch-Ungarisches Exportfirmen-Lexikon (Osztrák-Magyar Exportcégek lexikona); 1908-09
Rádiótechnika; magyar folyóirat
Österreichischer Radio-Amateur; osztrák folyóirat
Elektrotechnika; magyar folyóirat
Roger Crespin: Memento Tungsram; 1937
Tungsram Radio Service; Tungsram Elektrizitäts AG Zürich kiadványa
Radiobote; osztrák rádiógyűjtő folyóirat
Az Orion Rádió és Villamossági Vállalat története 1913-1963; Orion ünnepi kiadványa, 1963
Pócza Jenő, Radar; kb. 1946
Vajda Endre (főszerkesztő): A magyar híradástechnika évszázada; A Híradástechnikai Tudományos Egyesület kiadványa, 1979
Hidvégi Mária: Internationale Kartelle und der europäische Wirtschaftsraum der Zwischenkriegszeit (Nemzetközi kartellek és európai gazdasági tér a két világháború között); Themenportal Europäische Geschichte (2011); URL: http://www.europa.clio-online.de/2011/Article=482
A szerző feljegyzései néhai Mészáros Sándorral, a Tungsram csőgyártásának egykori vezetőjével 2008. január 3-án folytatott beszélgetésről
Tungsram dokumentumok gyűjteménye, Gunter Crämer magángyűjteménye
Különféle internetes források: finanzen.net, index.hu/gazdasag/gazdasag/2016/12/01, emea.gelighting.com, nytimes.com/1994/07/25

Év	Rádiócsövek	Adócsövek	Képcsövek
1925	252 000		
1928	291 000		
1929	642 000		
1930	1 123 000		
1931	1 936 000		
1932	1 834 000		
1933	1 611 000		
1934	2 345 000		
1935	2 219 000		
1936	2 599 000		
1937	3 165 000	„egyes adócsövek”	első laboratóriumi példányok
1938	2 421 000		
1939	2 587 000	10-12 000	
1940	2 385 000		
1941	2 309 000		
1942	2 613 000	33 200	
1943	2.055.000		
1944-1947	hiányzó adatok		
1948	1 317 000		
1949	1 783 000		
1950	2 217 680		
1951	3 260 000	10 000	
1952	4 252 000	15 000	
1953	5 824 000	27 000	
1954	6 228 000	29 000	
1955	6 933 000	51 000	
1956	6 896 000	35 000	1000
1957	6 079 000	22 000	5000
1958	8 820 000	37 000	11 000
1959	10 408 000	16 000	19 000
1960	11 310 000	9000	72 000
1961	12 674 000	25 000	153 000
1962	13 108 000	42 000	197 000
1963	11 851 000	43 000	225 000
1964	11 983 000	36 000	283 000
1965	13 254 000	35 000	281 000
1966	14 029 000	18 000	285 000
1967	14 736 000	19 000	292 000
1968	15 066 000	30 000	268 000
1969	16 635 000	27 000	300 000
1970	17 651 000	23 000	291 000
1971	18 129 000	19 000	169 000
1972	16 111 000	23 000	114 000
1973	17 115 000	25 000	26 000
1974	17 351 000	18 000	18 000
1975	15 996 000	17 000	18 000

A Rádiócsőgyártás éves darabszáma 1925-től 1975-ig

Év (-tól, -ig)	Székhely	Név	Hatáskör, megjegyzés
1922	Egyiptom, Kairó	Tungsram Kairó	A Tungsram Zürich kereskedelmi képviselete
1937	Argentina, Buenos Aires	Tungsram Argentina Fabrica de Lampara Electricas y Articulos de Radio S.A.	kereskedelmi képviselet
1924	Belgium, Brüsszel	Tungsram S.A. d´Électricité	kereskedelmi képviselet
1926	Dánia, Koppenhága	Tungsram Electricitaets A.S.	kereskedelmi képviselet
1930	Németország, Berlin	Tungsram GmbH	a Tokodi Üveggyár Rt. és a Beveral AG Zürich kereskedelmi képviselete
1930	Anglia, London	British Tungsram Radio Works Ltd.	rádiócsőgyár
1933	Anglia, London	Record Radio Ltd.	rádiócsőgyár
1936	Anglia, London	Tungsram Electric Lamp Works Ltd.	izzólámpagyár
1925	Finnország, Helsinki	Tungsram Sahkö O.Y.	kereskedelmi képviselet
1926	Franciaország, Párizs	Minora SARL	kereskedelmi képviselet
1937	Franciaország, Párizs	Tungsram	izzólámpagyár
1930	Hollandia, den Haag	Tungsram Maatschappij	kereskedelmi képviselet
1931	Hollandia, Tilburg	Gloeilampenfabriek Radium	Izzólámpa-, rádió- és rádiócsőgyár
1903-1910	Olaszország, Milánó	Tungsram Elettrica Italiana	kereskedelmi képviselet
1910-1919	Olaszország, Milánó	Tungsram Elettrica Italiana	izzólámpagyár
1919	Olaszország, Milánó	Tungsram Elettrica Italiana S.A.	izzólámpagyár
1921	Jugoszlávia, Zágráb	Tungsram S.A.	kereskedelmi képviselet
1921	Jugoszlávia, Belgrad	Tungsram S.A.	kereskedelmi képviselet
1933 bzw. 1936	Jugoszlávia, Zagráb, Belgrád-Pancsova	Tesla D.D.	izzólámpagyár
1938	Jugoszlávia, Zágráb	Tvornica Elektrichnih Zarulje D.D.	izzólámpagyár
1910	Ausztria, Bécs	Tungsram GmbH	kereskedelmi képviselet
1917	Ausztria, Bécs	Watt, Elektrizitäts AG	izzólámpagyár
1922	Lengyelország, Varsó	Zjednoczona Fabrika Zarowek S.A. („Cyrkon“)	izzólámpagyár
1921	Románia, Bukarest	Tungsram S.A. Electricitate	kereskedelmi képviselet
1921	Románia, Kolozsvár	Tungsram S.A. Electricitate	Tungsram Bukarest kereskedelmi képviselete
1923	Románia, Temesvár	Tungsram S.A. Electricitate	Tungsram Bukarest kereskedelmi képviselete
1936	Románia, Bukarest	Fabrica Romaneasca de Becuri Tungsram S.A.R.	izzólámpagyár
1941	Románia, Padurea Neagra	Fabrica di Sticla Padurea Neagra	üveggyár
1931	Svédország, Stockholm	Svenska Orion Försäljnings AB	kereskedelmi képviselet und Radiofabrik
?	Svédország, Stockholm	Juturna AB	rádiógyár

A Tungsram-konszernek részletes adatai (táblázat 1. rész)

Év (-tól, -ig)	Székhely	Név	Hatáskör, megjegyzés
1934/35	Svájc, Glarus	Neufina AG	licenc-holding
1948	Svájc, Carouge	Tungsram AG	izzólámpagyár
1948?	Svájc, Genf	Tungsram Fabrique de Lampes incandescence	izzólámpagyár
1913-1937	Spanyolország, Madrid	Tungsram Sociedad Limitada	kereskedelmi képviselet
1937	Spanyolország, Madrid	Tungsram Sociedad Limitada	izzólámpagyár
1937	Spanyolország, Barcelona	Tungsram Sociedad Limitada	a Tokodi Üveggyár Rt. és a Tungsram Zürich kereskedelmi képviselete
1913-1938	Csehszlovákia, Prága	Tungsram Kft.	kereskedelmi képviselet
1938	Csehszlovákia, Prága	Tungsram Spolecnost pre Vyrobu Elektricky Zarowek	izzólámpagyár
1916	Csehszlovákia, Utekac	Klara Glashüttenwerke AG	üveggyár
1921-37	Csehszlovákia, Pozsony	Tungsram Elektromossági Rt.	kereskedelmi képviselet
1937	Csehszlovákia, Pozsony	Tungsram Spolecnost pre Vyrobu Elektrichnih Zarowek	izzólámpagyár
1940	Csehszlovákia, Novimesto	Techna Spol.	a Watt AG által alapított
1921	Magyarország, Tokod	Tokodi Üveggyár Rt.	üveggyár
1931	Magyarország, Budapest	Magyar Wolframlámpagyár Kremenezky János Rt.	izzólámpa- és rádiócsőgyár
1931	Magyarország, Budapest	Orion Rádió, Villamossági és Üvegipari Rt.	rádiógyár
1935	Magyarország, Ajka	Ajkai Kőszénbánya Rt.	bánya
1941	Magyarország, Kolozsvár	ERA Villamossági Rt.	izzólámpagyár
1941	Magyarország, Budapest	Remix Elektrotechnikai Gyár Kft.	alkatrészüzem
1941-1947	Magyarország, Budapest	Turul Izzólámpagyár Rt.	izzólámpagyár
1941	Magyarország, Budapest	Üvegértékesítő Kft.	üvegértékesítés
1942	Magyarország, Budapest	Agrolux Községeket és Mezőgazdaságokat Villamosító Rt.	alkatrészüzem

A Tungsram-konszernek részletes adatai (táblázat 2. rész)

1% Segítsen Ön is!
Reményi István Rádióamatőr Alapítvány
18226429-1-43
Az alapítványt támogatja a
RÁDIÓTECHNIKA
Elektronika FÜZETEK

Most akció a HAM-bazárban

Nov. 1. – dec. 21. között minden 20 eFt feletti vásárlás után ajándék jár.*

készülékek – modulok – kitek

Okos rádiós magnó (RRT 11B) – csak 10.990 Ft

- **digitalizálva mentse régi magnókazettáit MP3-ban pendrájvra v. SD memóriára**
- 11 sávos világvevő KH-FM-RH rádió • finomhangoló kettős forgatógomb
- kazettás magnó felvétel és auto-stop funkcióval • beépített mikrofon
- MP3/WMA lejátszás USB/SD eszközről
- minden elérhető jelforrás felvétele kazettára vagy USB/SD eszközre
- fejhallgató csatlakozó: 3,5 mm
- tápellátás: 230 V-ról, 4 x D/LR20 (1,5 V) elemről, külső 6 V adapterről (nem tartozék)
- méret/súly: 280 x 170 x 100 mm / 1,5 kg

Digi frekvencia- és telj.mérő (Gy561) – 15.990 Ft

- **Frekvencia- és RF teljesítménymérés**
- mérési tartomány: 1 MHz … 2,4 GHz, ill. 0,1 W … max. 50 W
- beépített 50 ohmos lezárás, folyamatosan rövid ideig terhelhető!
- botantenna és kábeles bemenet (sma dugós)
- tartozékok: botantenna, sma-anya – sma-anya kábel, sma-anya/BNC-dugó átalakító
- automatikus kikapcsolás
- tápellátás: 3 db AAA (mikro) elemről (nem tartozék)
- méret: 95 x 55 x 25 mm

Digitális frekvenciamérő (Gy560) – csak 8.990 Ft

- **frekvencia- és térerőmérés**
- rádiótesztelésre kiváló, csak teleszkópantennás bemenet
- mérési tartomány: 50 MHz ... 2,4 GHz
- 7 digites kijelzés • beállítható felbontás: 1 kHz vagy 0,1 kHz
- tápellátás: 9 V-os rádiótelepről (nem tartozék)
- méret: 95 x 55 x 21 mm

Repülő sávos vevő kit 7.990 Ft

118...136 MHz-es AM szupervevő.

NE602, MC1350, LM358, LM358, LM386 típusú IC-kkel.

Házilag kell összeforrasztani. Készülékdoboz nélküli.

0-30 V stab. táp kit 3.990 Ft

Ube = 24 V AC, Iki = 0–3 A.

Házilag kell összeforrasztani. Készülékdoboz, hálózati transzformátor és hűtőborda nélküli.

Frekvenciamérő modul 7.990 Ft

2 bem.: 0,1–60 és 60–1000 MHz.

érz.: 60–100 mV, táp: 9 V/160 mA, 14 mm kar.mag., vörös v. kék LED-ek, méret: 125 x 25 x 21 (ma.) mm

A kitek összeállítását az elektronikai építésben jártasabbaknak ajánljuk, kezdőknek csak segítséggel.

A »HAM-bazár speciál« készülékeiről, készleteiről további információ a honlapunkon található!

Korlátozott készletek, egyes tételek kifogyóban! – Utazás előtt, kérjük, érdeklődjön!

*** Az akcióba a lapelőfizetés nem számítható be. (Az már önmagában is kedvezményes tétel.)**

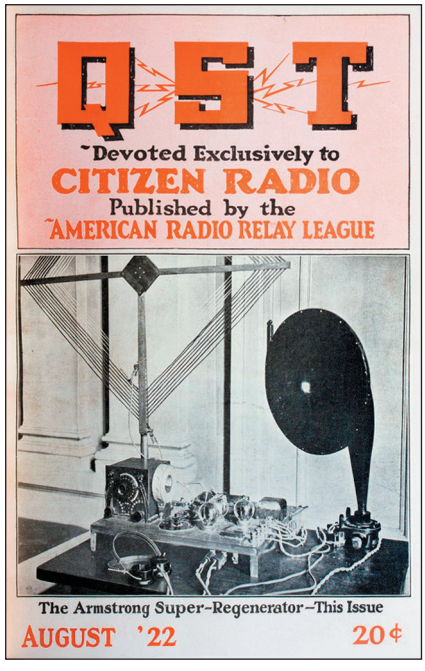
HAM-bazár 1138 B.pest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H - P. 09 - 14 ó., Csüt. 09 - 17 ó.
239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu 5k

»Elster«
Egy érdekes szuperregeneratív adó-vevő

Irházi Sándor okl. villamosmérnök, HA5LR

Majdnem száz éves múltra tekinthet vissza a szuperregeneratív elv a rádiótechnikában, ennek ellenére kevesen ismerik és alkalmazzák. Ez idő alatt erősen hullámzó volt a megítélése: nagy reményeket is fűztek hozzá, de használhatatlannak is minősítették. A felhasználási területe viszonylag széleskörű, és nem szorítkozik szorosan a köznapi értelemben vett rádiózás (hangátvitel) fogalmához. Jellemzői ma inkább az adatátviteli és a távvezérlési feladatok megoldására teszik alkalmassá.

Álljon itt két kép az időszak elejéről s a végéről! Az elsőn az amerikai „QST" folyóirat címlapja látható 1922-ből, ebben adnak hírt *Edvin H. Armstrong* készülékéről **(1. ábra)**. A második kép 2012-ben készült, egy félvezető csipet ábrázol, amely egy komplett szuperregeneratív adó-vevő készüléket tartalmaz, kevesebb, mint egy köbmilliméter(!) térfogatban **(2. ábra)**

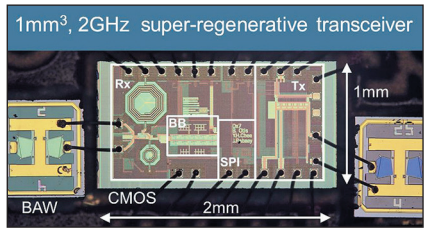


1. ábra

Röviden a szupregműködésről

A szuperregeneratív (röviden: szupreg-) vevő egy mintavevő áramkörnek tekinthető, amely az antennajelből – vagy annak már felerősített változatából – vesz mintát. A mintavétel eredménye egy impulzus-szélesség és/vagy impulzus-sűrűség modulált jelsorozat. Ezt egy aluláteresztő szűrőn átbocsátva megkapjuk a hasznos demodulált jelet. A mintavevő áramkör egy oszcillátor, ezért nevezik SRO-nak (super regenerative oscillator) is. Ebben az alkalmazásban a berezgési folyamat sajátosságait használjuk ki oly módon, hogy folyamatosan leállítjuk, majd újraindítjuk a rezgést: minden újraindítás egy mintavételnek számít. A mintavételt lehet külső kapcsolójellel (quench signal) vagy saját szaggatással vezérelni, a rendszer sajátosságai ettől is függenek. A korrekt működéshez több matematikai összefüggésnek is teljesülnie kell.

A szupregvevő érzékenysége az egyszerű, sőt mondhatni primitív felépítéséhez viszonyítva kimagaslóan jó. Engedtessék meg, hogy a detektor működését és az érzékenység alakulását egy nagyon egyszerű ábrával szemléltessem. Így magyarázta el nekem anno, 55 évvel ezelőtt *Berényi József* HA7LB, „Józsi bácsi", aki már sajnos „silent key". Ezzel szeretnék emlékezni rá és megköszönni segítségét: Egy egyszerű regeneratív készülék, ahogy mi ismerjük, a visszacsatolt audion érzékenységét a **3. ábra** mutatja. A visszacsatolás növelésével az érzékenység rohamosan nő, a begerjedés határán a legnagyobb, majd ismét csökken. Nyilvánvaló, hogy jó lenne e pont közelében tartani az áramkört, de sajnos ez – főleg a nagyobb frekvenciákon – nagyon nehéz. A megoldást a begerjedési ponton való állandó, periodikus áthaladás jelenti, így mindig a legnagyobb érzékenységi állapot közelében marad az áramkör. Az ábrán ezt az alsó, pontozott vonallal jelzett út mutatja: minden egyes újraindításkor – mintavételkor – ezt az utat járja be a szupregdetektor. Az áramkör mindig a begerjedési határ közelében leng, ezért lengő audionnak is nevezik. „Olyan ez, mintha másodpercenként ötvenezerszer ide-oda forgatnád a visszacsatoló forgót" – mondotta Józsi bácsi annak idején.



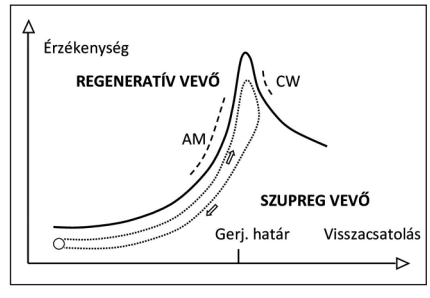
2. ábra

Összefoglalva a szupregdetektor sajátosságait:

- Előnyök: egyszerű, olcsó, nagy érzékenység, kis teljesítményfelvétel.
- Hátrányok: nagy torzítás, nagy zaj, nagy zavarsugárzás, gyenge szelektivitás, csak AM üzemmód lehetséges (FM félrehangolva), csak kb. 10 MHz fölött használható, közeli készülékek blokkolhatják egymást.

A fentiek miatt az elmúlt évtizedekben a következő felhasználási területeken jelentek meg a szupregvevők:

- A kezdeti időszak műsorvevő rádiói (háborús szükségrádió is).
- Polgári felhasználású adó-vevők, CB rádiók.



3. ábra

• Katonai berendezések.
• Az FM műsorsugárzáshoz használt adapterek.
• Rádióamatőr és sportkészülékek.
• Adatátviteli, távvezérlő, érzékelő készülékek.
• Hordható egészségügyi eszközök (implantátum).

A szupregdetektort analóg átvitelre a hátrányai miatt ma már nem használják. A digitális átvitel térhódítása, a félvezető alapú csipekre való viszonylag könnyű integrálhatóság, a kis teljesítményigény azonban megváltoztatta az eddigi, hanyatló trendet. Az áramkör korlátozottan a reneszánszát éli. Érdekes és új felhasználási területe a hordható egészségügyi berendezések. A modern szupregvevő kis teljesítményigényű (0,1-1 mW), rövid hatótávolságú (1-30 m), alacsony sebességű (10-100 kbit/s) adatátvitelre alkalmas, 10-100 nJ/bit hatékonyság mellett, jellemzően az 1-10 GHz-es frekvenciatartományban.

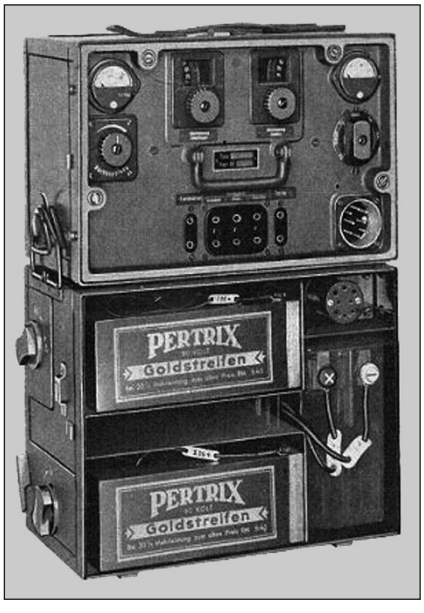
Mi azonban ugorjunk vissza most a múlt század közepére: a II. világháború szinte mindegyik résztvevője rendelkezett szupregrádióval. Ezek általában egyszerű, szerény képességű „walkie-talkie”-k voltak. A paramétereivel, szolgáltatásaival kiemelkedik azonban a német „Elster” adó-vevő.

A Lorenz „Elster” UHF adó-vevő készüléke

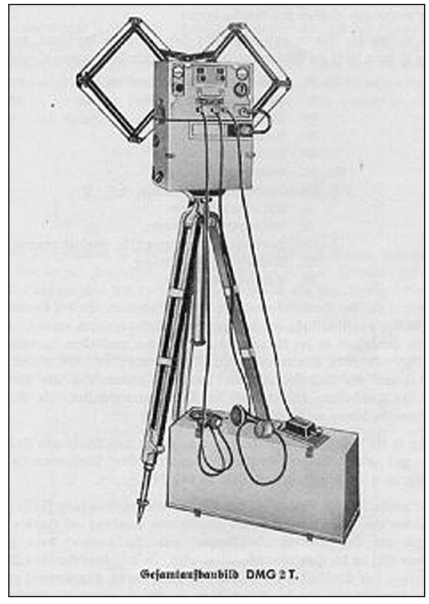
A berlini C. Lorenz A. G. cég már az 1920-as évektől kezdve kísérleteket folytatott a szupregelven működő eszközökkel. A harmincas évek második felében tervezte, és kezdte gyártani a DMG 2 T jelű, „Elster” fedőnevű, irányított sugárzási tulajdonsággal rendelkező kommunikációs berendezését, melynek alapkészüléke a SEG 2 T adó-vevő volt **(4. ábra)**. A II. világháború ideje alatt több ezer darabot gyártottak belőle 1944-ig. A készülék-ismertetés okai:

• Nagyon szépen példázza a szupregműködésre vonatkozó elvi megfontolások alkalmazását.
• Átgondolt, kidolgozott áramkörökből épül fel.
• A maga idejében talán a legmagasabb frekvencián működő szupregkészülék volt.
• A tervezők az alapáramkörökben rejlő lehetőségek felhasználásával sokoldalúvá tették a készüléket.

Ez a rádió egy hordozható, UHF-sávú, szimplex, beszéd és hangzótávíró üzemmódra alkalmas adó-vevő készülék. Összecsukható, irányított antennája egyaránt használható függőleges és vízszintes polarizációra. Az irányítottsága és a frekvenciatartománya miatt csaknem optikai rálátás szükséges a két berendezés között, azaz elsősorban „pont-pont” összeköttetésekre előnyös. Ezen tulajdonságok a kívánt irányban megnövelik a hatótávolságot, a kizárt irányokban pedig valamelyest védettséget adnak az ellenséges zavarással, felderítéssel és lehallgatással szemben. A berendezés alapvetően két lényeges technikai különlegességgel rendelkezik: egyik a precízen kivitelezett tápvonalas oszcillátor, a másik a jó hatásfokú antenna **(5.** és **6. ábra)**.

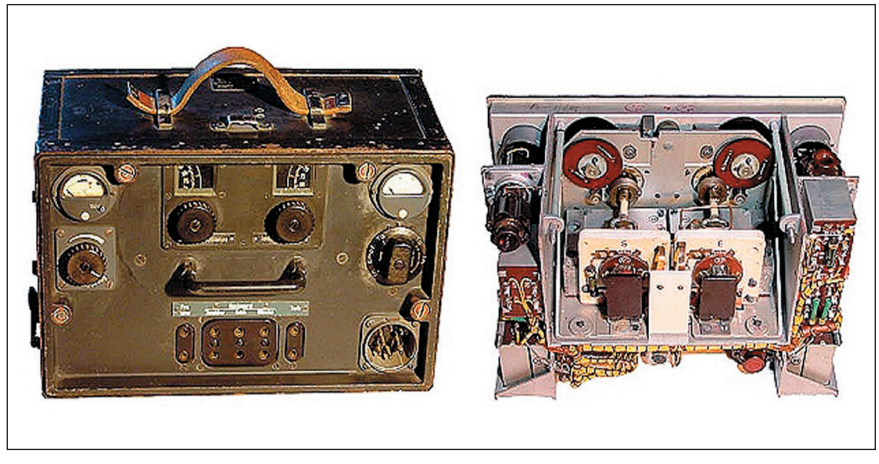


4. ábra

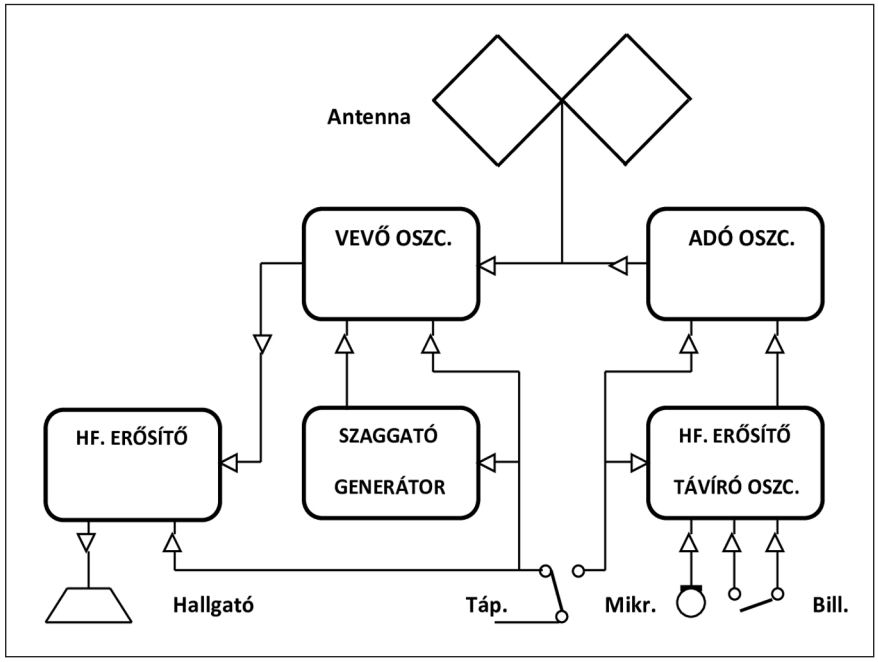


5. ábra

Főbb adatok:
• Frek.tart.: 476-526 MHz
• Szomszéd csat. táv.: kb. 3-5 MHz
• Csatornaszám: 1
• Hangolás: folyamatos kézi, külön az adó és a vevő
• Üzemmódok: szimplex, beszéd (A3) és hangzótávíró (A2)
• Adó kim.telj.: kb. +18 dBm (60-80 mW)
• Vevő érz.: kb. -93 dBm (5-8 uV)
• Antenna: 2×2 el. Chireix-Mesny elrend., (Sägezahn - fűrészfog antenna)
• Ant.nyereség: kb. 10-12 dBi
• Polarizáció: vízsz. v. függőleges
• Távvezérlés: 15 m-ről, ill. távíró üzemben nagyobb adót tud billentyűzni
• Táplálás: 1 db 2 V (2B38) akku, 2 db 90 V szárazelem vagy hálózati tápegység
• Csövek: 2 db DS310, 2 db RL2T2, 1 db RV2P800



6. ábra



7. ábra

• Felhasználás: pont-pont ök.-re
• Üzemidő (telep): fűtés: 12 óra, anód: 30 óra
• Hatótáv.: állványon: 5-10 km, 11 m-es árbócon: 25 km, kiemelkedő tereptárgyakon: 50-100 km
• Méret (adó-vevő): kb. 35×25×25 cm
• Telepítési idő: 10-15 perc

Megjegyzés: A fentiek több hivatkozásból származnak, ezek között némi eltérések mutatkoznak.

A SEG 2 T adó-vevő

A készülék tömbvázlata a **7. ábrán** látható. Két fő alapeleme az adóoszcillátor és a vevőoszcillátor. Az adó kétfokozatú: egy teljesítmény oszcillátor, melyet a szintén egycsöves mikrofonerősítő vezérel, anódmodulációt biztosítva. Ezen áramkör távíró oszcillátorként is működik. A vevő háromfokozatú: a vevőoszcillátor nem önszaggató típusú, egy triódás külső oszcillátor jele szaggatja. Mindezen láncot egy egyszerű hangfrekvenciás végerősítő zárja. Az adás-vétel átkapcsolás a táplálás átváltásával történik. Nagyon egyszerű, de jól működő felépítés.

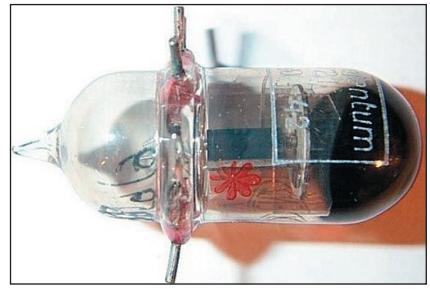
Elvileg egy nagyfrekvenciás oszcillátor is elegendő lenne, mégis az adó- és vevőoldal elkülönítésének feltehető okai: a stabil frekvenciának és a félduplex üzemmód lehetőségének biztosítása. Ha ugyanazt a csövet használják adásra és vételre is, az átkapcsolgatás (munkapont váltás) miatt a cső belső kapacitásai is megváltoznak. Emiatt adás-vétel váltáskor a beállított frekvencia ugrálna". 500 MHz környékén ez már jelentős lehet, a vevő a viszonylag nagy sávszélessége ellenére is kicsúszhatna a szükséges vételi sávból. Ez lehet a legvalószínűbb oka a két rezgéskeltő alkalmazásának. E megoldás további előnye még az esetleges félduplex üzemmód lehetősége, bár semmilyen adatom nincs arra vonatkozólag, hogy használták-e a berendezést ilyen üzemmódban.

A tápvonalas oszcillátor

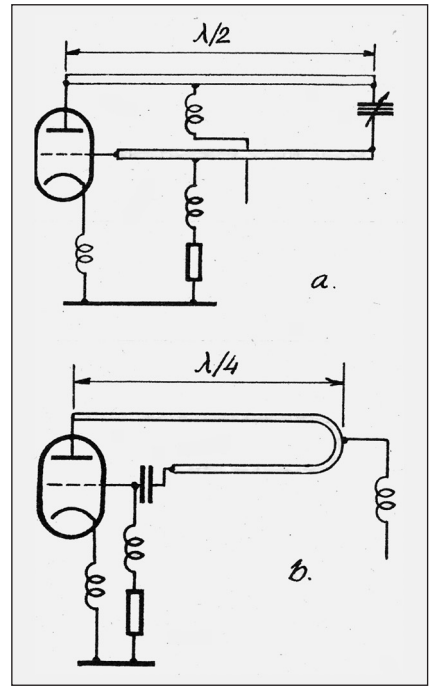
Az amerikai RCA a harmincas években hozta forgalomba az alapvetően új konstrukciójú elektroncsöveit, a 954, 955, 958-at. Ezek az ún. makkcsövek (a két utóbbi trióda) nevüket a méretükről, alakjukról kapták. A lényeges tulajdonság, hogy mintegy 500 MHz-ig használhatók voltak, természetesen triódák. E tulajdonságukat a nagyon kisméretű elektródáinak és rövid kivezetéseinek köszönhették. Ezt a felépítést ezután a többi csőgyár is gyártani kezdte, így a német Lorenz is. A cső a DS 310 típusjelzést kapta **(8. ábra)**, később több variánsa is volt, még nagyobb frekvenciára.

A több száz megahertzen működő oszcillátorokban gyakran elosztott paraméterű hálózatokat alkalmaznak. A tápvonallal megvalósított rezgéskeltők két egyszerű típusa látható a **9. ábrán**. A felső (a) áramkörben egy nyitott végű szimmetrikus tápvonal a frekvencia meghatározó elem, a fizikai hossza határozza meg a kialakuló rezgés hullámhosszát. A rezgési feltételek itt egy félhullámú rezgésállapot kialakulásához kedvezőek, ekkor mindkét végen nagyfrekvenciás feszültség maximum alakul ki. A nyitott végen elhelyezett, kis értékű kapacitással lehet hangolni, beállítani a pontos frekvenciát. A második (b) áramkörben a tápvonal vége rövidre van zárva, emiatt a kialakuló rezgés hullámhossza a tápvonal hosszának a négyszerese lesz. A cső (vagy tranzisztor) működéséhez szükséges tápáram hozzávezetések mindkét esetben lehetőleg a feszültség-minimum pontokon, fojtótekercseken át célszerűek. A tápvonalak mindkét vezetéke azonos hosszúságú, a cső elektróda hozzávezetések is beleszámítanak a tápvonal hosszba. Az Elsterben ez utóbbi, negyedhullámú megoldást alkalmazták a tervezők.

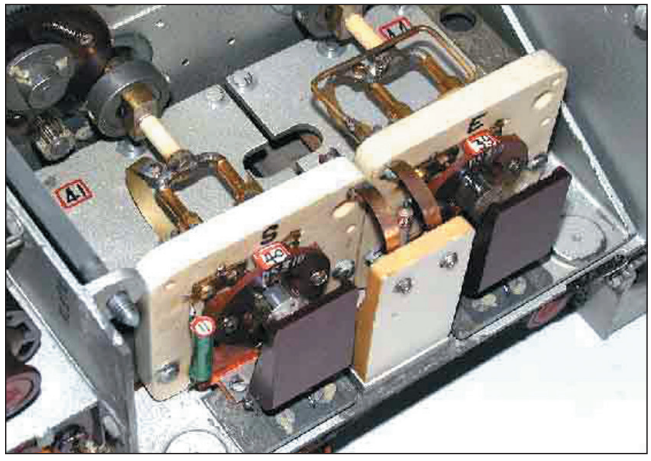
A két rezgéskeltő a rádió „lelke", ezek korrekt működésén áll vagy bu-



8 ábra



9. ábra



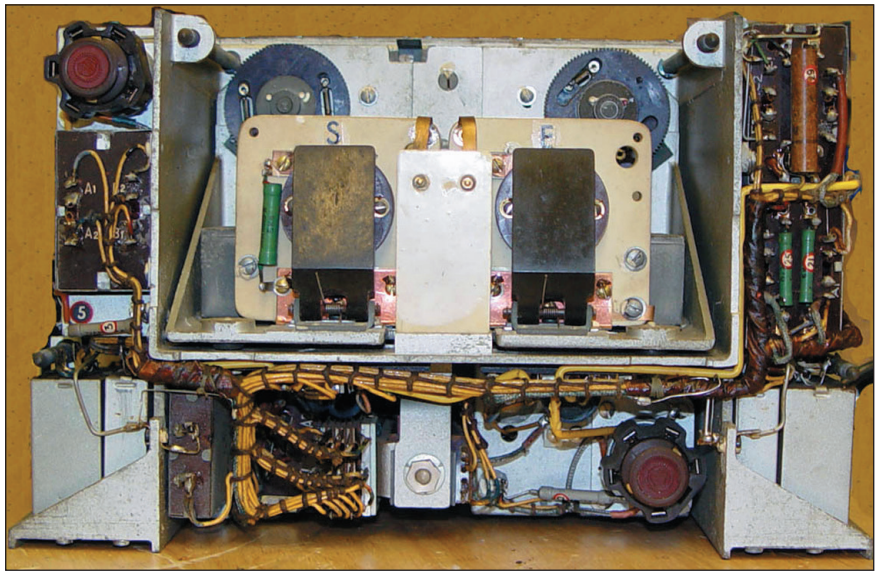
10. ábra

11. ábra

kik az egész működés, a többi áramkör csak „körítés”. Nem véletlen, hogy itt gondos tervezés és gyártás nyomait fedezhetjük fel. A két áramkör elvileg teljesen egyforma, a feszültségek és az alkatrészek értékeitől eltekintve. A nyitott vég csatlakozik az anódhoz és az egyenáramú leválasztás után a rácshoz. A rövidzárnál történik az anódfeszültség betáplálása egy hajlékony fémszalag segítségével, amely tulajdonképpen fojtótekercsként működik. A tápvonal két részből áll, egy U-alakú mozgatható, és az U felső szárait kiegészítő, rögzített részből. A mozgatható U-elem belecsúszik a rögzített meghosszabbításokba, itt érintkezők biztosítják a jó érintkezést közöttük. Így a ki-be mozgatás miatt változik a tápvonal hossza, és emiatt a rezgés frekvenciája is. Az U-elemet egy kerámiarúd közvetítésével egy finombeállító mechanikus rendszer köti össze az előlapon elhelyezett forgatógombbal, így lehet az adó és a vevő frekvenciát beállítani, külön-külön.

A tápvonal a jó érintkezés, a kis veszteség és a korrózió elleni védelem érdekében aranyozott. Az oszcillátorok kis veszteségű, kerámialapra vannak felépítve. A cső a tápvonal középvonalában, de alatta helyezkedik el. A közepes frekvencia 500 MHz, ehhez tartozó lambda/4 hosszúságú tápvonal kb. 10-14 cm. Szembetűnő, hogy ez a valóságban jóval rövidebb, feltehetően a szerelési és csőkapacitások miatt (**10., 11.,** és **12. ábra**).

Az adás-vétel váltás a tápfeszültségek átkapcsolásával és az éppen nem aktív rezgő hurok részleges rövidre zárásával történik. Az antenna egy csatolóhurkon keresztül csatlakozik az oszcillátorokhoz, különös, hogy a vevőhöz lényegesen szorosabb a csatolás, mint az adóhoz. A hurok a készülékdoboz hátoldalán lévő rugós érintkezőkhöz csatlakozik, s ezen keresztül az antennához.



12. ábra

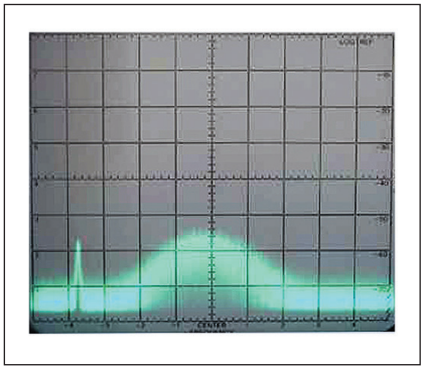
A „Pendelaudion” és a vevőoldal

A vevőoldali rezgéskeltőt egy másik, szaggató generátor (quench-oszcillátor) vezérli. Ez egy szintén hárompont kapcsolású áramkör, kb. 500 kHz-es szinusz rezgést állít elő, és egy transzformátoron keresztül változtatja az 500 MHz-es oszcillátor anódfeszültségét. A „modulációs csúcs”-okban a nagy anódfeszültség bekapcsolja a nagyfrekvenciás rezgést. Ebben a berezgésben segíti a bejövő antennajel, ezért a rezgési időtartam függeni fog a bejövő jel nagyságától, ez hordozza majd számunkra a hasznos információt. A „modulációs minimum”-ban a nagyfrekvenciás rezgés leszakad: a rendszer visszajut a nyugalmi állapotába. A quench jel újbóli növekedésével megismétlődik a folyamat, hogy újból mintát vegyen az antenna jeléből. A nagyfrekvenciás rezgés léte az anódfeszültségtől függ, vagyis akár kézzel is szabályozhatjuk a berezgést. Erre való az anódkörbe beiktatott, és az előlapon a „Rückkopplung” feliratú potenciométer. Ezzel lehet a visszacsatolást, s vele a maximális érzékenységet beállítani. A telepek kimerülésével ezt állítani kellett. A hangfrekvenciás végfokozat szokványos, nem tartalmaz semmi különlegességet.

Itt kell emlékeztetni a szupregműködés egyik alapvető feltételéről, miszerint:

f(mod. max) << f(quench) <<< f(vivő).

Az első arányosságnak legalább tízszeres, a másodiknak legalább száz-

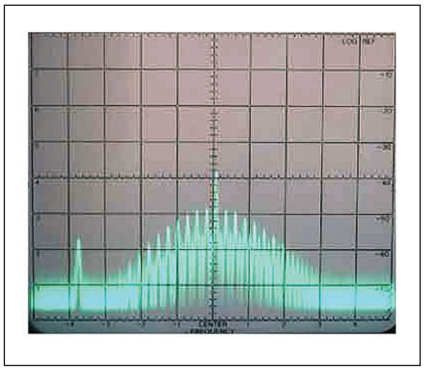


13. ábra

szoros, de inkább ötszázszoros viszonyt kell teljesítenie ahhoz, hogy a rendszer jól működjön. E készüléknél: f(mod. max) = 5 kHz, f(quench) = 500 kHz, (vivő) = 500 MHz. Így az első arány: 100, a második: 1000, ezek körülbelüli értékek. Eszerint bőven tudja a rendszer a korrekt működés feltételeit.

A rádió vételi érzékenységére nem találtam megbízható adatot. A mérést nehezíti, hogy nagyimpedanciás (300...600 ohmos) antennabemenettel rendelkezett. Abban a különböző leírások és amatőr mérések megegyeznek, hogy a felépítéséhez képest kiemelkedő érzékenysége volt. A rádiónak nem volt nagyfrekvenciás előerősítője, reálisnak látszik a 3-5 uV-os vagy efölötti (5-10 uV) érték. Ezt más hasonló berendezéseknél mért adatok is alátámasztják.

Egy igen hasznos információt találunk a [2]-ben. Köztudott, hogy a szupregvevő sajnos sugároz, hiszen periodikusan berezeg és az antenna ezt kibocsátja. Ezt a jelenséget láthatjuk a következő két spektrumképen. A **13. ábra** hasznos bejövő antennajel nélkül mutatja a kisugárzást: ez gyakorlatilag zaj. Megváltozik azonban a kép, ha hasznos jel is van az antennán: a vivőn és a szaggatásnak megfelelő oldalsávokon megnő a sugárzás **(14. ábra)**. Ez a széles sávú zavarkisugárzás a szupregműködés kellemetlen velejárója. A vivőtől balra, kb. -8 MHz-re lévő jel feltehetőleg külső zavar.



14. ábra

Az adóoldal

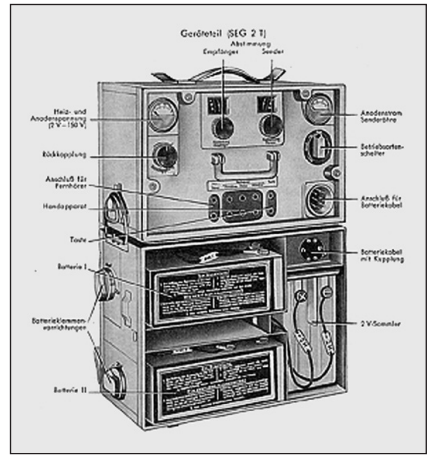
Az adóoldali rész még a vevőnél is egyszerűbb. A vevővel lényegében azonos felépítésű oszcillátor a nagyobb anódfeszültség miatt nagyobb szinten rezeg. Itt ez a rezgés folyamatos, nincs szaggatás. Van viszont normál anódmoduláció. A modulátor erősítő egycsöves fokozat, közönséges szénmikrofonos bemenettel. A szénmikrofon áramellátását a fűtőtelep adja. Az erősítőt az üzemmód kapcsolóval egy kb. 800 Hz-en rezgő távíró oszcillátorrá lehet átkapcsolni, ami a távíróbillentyűvel indítható. A vevő csak AM üzemben működhet, ezért van erre a hangzótávíró üzemmódra szükség. A leírások 50-80 mW-ra teszik az antennára kijutó teljesítményt.

A készülék felépítése, tápellátás

A mechanikai felépítés példaszerű, a katonai követelményeknek megfelelően masszív, átlátható, könnyen javítható. A váz öntött alumínium, kellő stabilitást ad a nagyfrekvenciás fokozatoknak, korrekt módon elválasztja azokat egymástól. A felső részen külön kivehető módon található a két oszcillátor, közvetlen csatlakozási lehetőséggel az antennához. A hozzájuk tartozó áramköri elemek mellettük és alattuk helyezkednek el.

Az előlapon felül a két frekvencia-beállító gomb található, mellettük egy-egy műszer a tápellátás és a működés ellenőrzésére. A visszacsatolás balról, az üzemmód kapcsoló jobbról a műszerek alatt, antenna hangoló elem nincs. Egyszerű és átlátható **(15. ábra)**.

A telepekből a „Pendler” 90 V anódfeszültséget kap, az adó 125 V-ot, a minél nagyobb kimenő teljesítmény érdekében. A csövek fűtését 2 V, 38 Aó-s



15. ábra

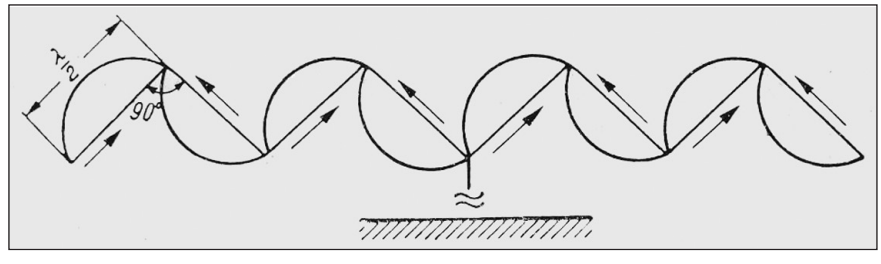
akkumulátor biztosította, kb. 12 üzemóráig. A 2 db sorba kapcsolt 90 V-os anódtelep már kevésbé volt igénybe véve, 30 óra üzemidővel rendelkeztek. A SEG 2 T-vel távíró üzemmódban nagyobb adóberendezéseket is vezéreltek, ehhez készült egy szelektív és határoló áramkör, amelyet egybe építettek a hálózati tápegységgel (NTG 2). Ezért ezt billentyűző tápegységnek is hívták.

A „Sägezahn” antenna

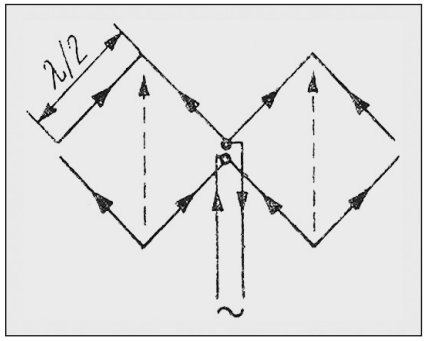
A berendezés további érdekessége az antenna. A rádiót üzem közben álló helyen működtetve, lehetőleg nagytávolságú összeköttetésekre tervezték. A nagy üzemi frekvencia lehetővé tette a hullámhosszhoz képest nagy, de fizikailag mégis kisméretű sugárzó használatát, növelve ezzel az irányítottságot, nyereséget. A választás – több próbálkozás után – az összetett, derékszögben megtört, félhullámú sugárzókból álló, Chireix-Mesny rendszerű antennára esett.

Mint a neve is mutatja, a fűrészfoghoz hasonló a szerkezet. Német neve a Sägezahn, Zig-Zag, az angol sawtooth, a magyar fűrészfog, cikk-cakk vagy függöny, meander antenna.

Az antenna származtatása, működése a következő. A **16. ábrán** egy, a föld felett vízszintesen elhelyezett, de



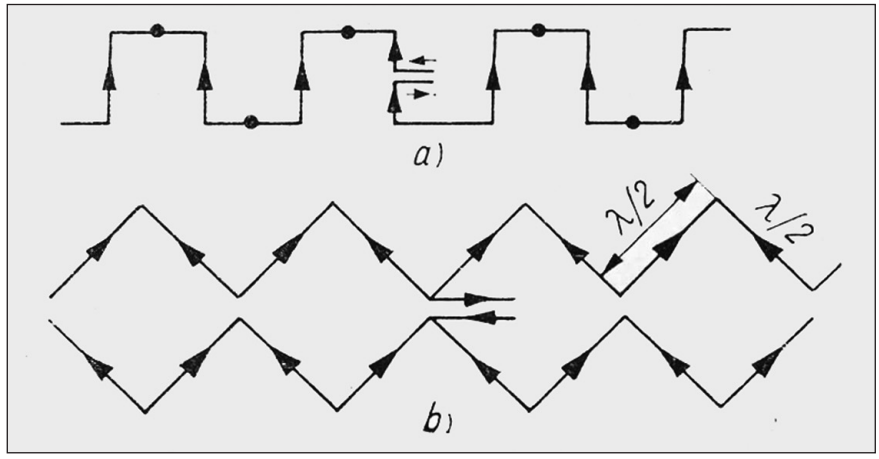
16. ábra



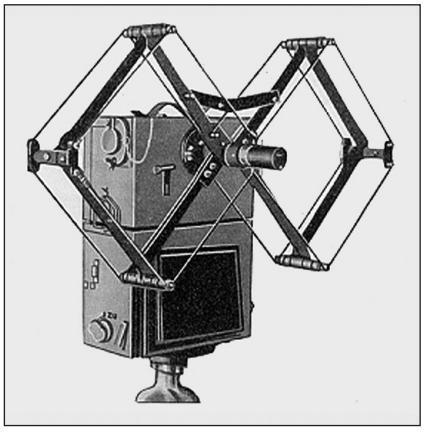
17. ábra

félhullámhosszanként derékszögben megtört sugárzót látunk. A félkör-szerű (valójában fél-szinusz alakú) vonal az árameloszlást, a nyilak az áramirányt mutatják. A gerjesztés aszimmetrikusan történik, a rendszer közepe és a föld között. Ha az áramvektorokat vízszintes és függőleges összetevőikre bontjuk, az előbbiek „szembekerülnek" egymással, azaz kioltódnak, míg az utóbbiak azonos irányba mutatva erősítik egymást. Az eredő áramirány megegyezik több, a föld felett függőlegesen álló, egymástól bizonyos távolságra lévő és azonos fázisban gerjesztett félhullámú botantenna áramirányával. Ennek már irányhatása is van, különbözik az egyedülálló bot sugárzásától. A többi cikk-cakk, meander antenna működése is ezen alapszik. A cikk-cakkok számának növelésével az iránykarakterisztika szűkül.

A **17. ábrán** már az Elster antennájával megegyező elrendezést, megoldást láthatunk. A szaggatott vonal az eredő áramirányt jelenti. Ezeknél a fő sugárzási irány a papír (képernyő) síkjára merőleges irányú („befele és kifele"). Egy másfajta elrendezést láthatunk a következő képen **(18. ábra)**. Itt nem cikk-cakk alakban, hanem meander (görög) formában van megtörve a sugárzó vezeték (Bruce antenna). A cikk-cakk vagy meander antennát ma is szívesen alkalmazzák a különféle Wi-Fi és Bluetooth eszközökben, több gigahertzes tartományban.



18. ábra



19. ábra

Sajnos az eredeti Elster antennáról nincs konkrét adat, de egy hasonló, a 435 MHz-es amatőrsávban működő antenna alapján a következőek mondhatók:

- Az antenna paraméterei viszonylag széles sávban állandóak, kb. 40 fokos előrehaladó iránysziggel lehet számolni, a nyereséget 10-12 dBi-re vehetjük (két síkban elhelyezett sugárzó esetén).
- Az eszköz feszültség maximumban táplált, kb. 300 ohmos tápvonal kell.

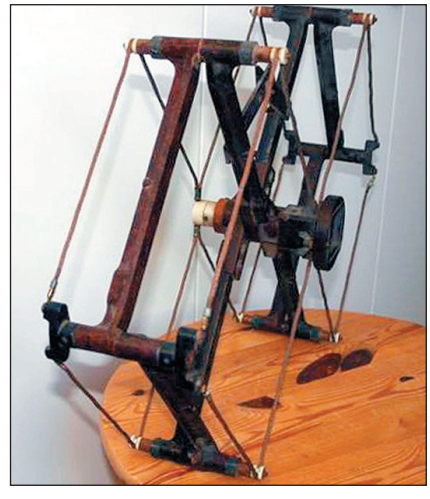
A végleges Elster változat látható az eredeti, fekete-fehér fényképen **(19. ábra)**. A két doboz közül a felső az adó-vevő, az alsó a telepek tartója. Az antenna az adó-vevő hátoldalára csatlakoztatható és erősíthető, így a lehetséges legrövidebb úton kapcsolódik oszcillátorokhoz. Jól megfigyelhető a városi villamosok áramszedőinek módjára összecsukható vázú antenna. A középen lévő, valamilyen műanyagból (bakelit?) készült tartó hordozza a hajlékony sodratból készült sugárzókat. Málházáskor a csavarok oldása után a keret összecsukható, kis helyet foglal el. Lehet, hogy csak az egyik sugárzó pár az aktív, de valószínűbb, hogy mindkettő, de fázishelyzetben eltolva **(20. ábra)**.

A **21. ábrán** látható módon kétféleképpen helyezhető fel a sugárzó, így kétféle polarizáció állítható be. Szükség volt rá, mert az egymáshoz közel telepített készülékek gyakran zavarták egymást vételben is, a vevőaudionok berezgései miatt. Ilyenkor az egyik kommunikációs lánc polaritását megfordították 90 fokkal, a zavar kisebb lett.

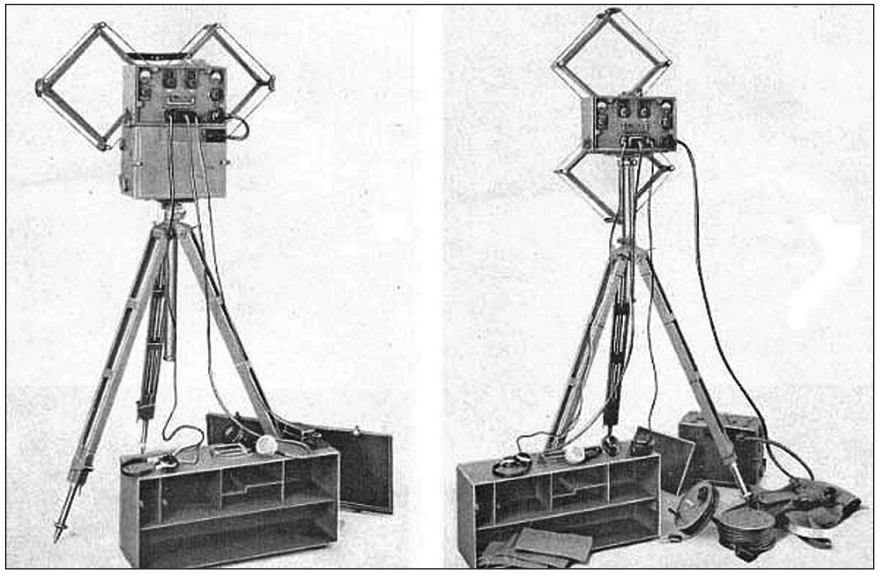
Az antenna illesztése, árbócra helyezése

Az alapkiépítés egy háromlábú állványra való erősítést jelentett. Ez, rálátás esetén 5-10 km-es hatótávolságot biztosított. Nagyobb távolságok áthidalására egy 4 tagú, 11 m magasra felállítható árbóc használata is lehetséges volt, ezzel mintegy 25 km-re tolódott ki a hatótávolság. Az antennát az árbóc tetejére erősítették, és nagyfrekvenciás, szimmetrikus kábel kötötte össze az adó-vevővel.

Az antennát ki kellett hangolni, ezért egy kicsike mérődipólt szereltek az antenna hátoldalára, és a dipól kapcsai közé szerelt diódával detektált jelet fojtótekercsek felhasználásával leküldték a lenti indikátor műszerre. A kábelen tehát két jel futott, a nagyfrekvenciás jel fel, az egyenáramú le. A mérődipól az antenna hátoldalán nem zavarta az előrehaladó nyalábot, egyébként is kicsi volt. A kihangoló eszköz a tápvezeték hosszát változtatta.



20. ábra

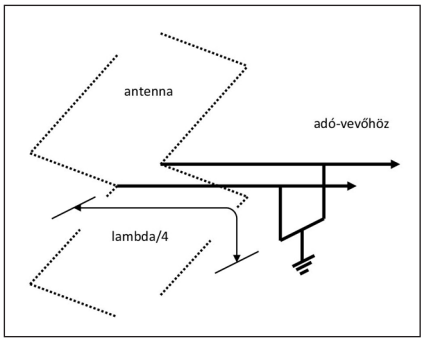


21. ábra

Az antenna illesztéséről és a berendezés túlfeszültség védelméről nincs konkrét adat, de említésre méltó a készülékdoboz belső hátoldalán található hurok. Az antennacsatlakozóra egy rövidke, néhány centiméteres hurok van forrasztva, s a rövidzár közepe a dobozhoz egy kis induktivitáson keresztül a dobozhoz leföldelve. Mint ismeretes, a negyedhullám hosszúságú, végén rövidrezárt és itt leföldelt tápvonalat túlfeszültség- és villámvédelemnek is használják.

Valószínűnek látszik a következő magyarázat: Ez a kis hurok csak a negyedhullámú szakasz vége, a többi az antenna tartójában van. E megoldással a védőhurok egyben illesztő hurokként is viselkedik. A **22. ábrán** látható negyedhullámú tápvonal szakasz az illesztőtag, a leágazásra csatlakozik a generátor, vagy a terhelés, azaz a rádió. A leágazástól balra eső rész van itt az antenna tartójában, az alsó rész a kis hurok.

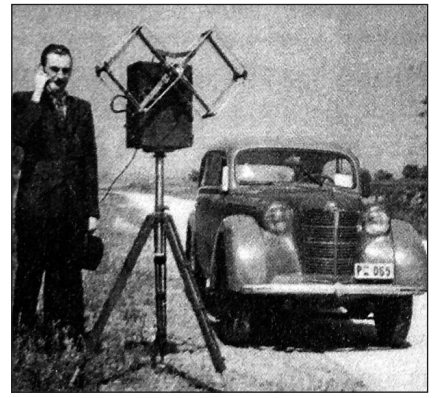
A rádiót még nagyobb távolságok áthidalására is lehetett használni. Kiemelkedő pontok, hegycsúcsok között mintegy 100 km-t tudott, ami azért már jelentős teljesítmény. A készülékek telepítését, az áramellátást ez esetben a helyi körülmények egyedileg határozták meg. Az optikai rálátás szükséges volt, de még így is akadtak nehézségek, például a többutas terjedés a hegyek között, vagy a tengervíz reflexiós hatása. A szuperregeneratív vevő nagy sávszélessége, az ebből is eredő nagy alapzaja azonban erősen korlátozó tényező volt.



22. ábra

Elgondolkodtató, hogy – a tapasztalat szerint is – ez az adóteljesítmény, egy egyszerű botantennával városi körülmények között csak néhány száz méterre, nyílt terepen néhány kilométerre elegendő. Kérdés: mi az oka mégis itt a több tíz, akár száz kilométeres hatótávolságnak? A válasz: a magasra helyezett, irányított, minél nagyobb nyereségű antenna. Más szavakkal: bebizonyosodik az „öreg róka" rádióamatőr mondás: „Legjobb erősítő az antenna!"

Egy magyar vonatkozású információ: Tudunk a Zelenka Laboratórium, a Posta Kísérleti Állomás és az amatőrök szupregvevőkkel kapcsolatos, 1940-es évekbeli próbálkozásairól. Ezek során nálunk is áthidalták a 60-100 km-es távolságot, sorozat jelent meg a Rádió Technika hasábjain, és kidolgoztak egy egyszerű, háborús szükségrádióként is használható, középhullámú szuperregeneratív vevőkészüléket. Valószínűleg e munka közben készült a **23. ábra** fotója, amelyen egy Elster adó-vevő látható, *Zerinváry Endre* mérnök és egy autó társaságában [9].



23. ábra

Irodalom:

[1] https://www.kriegsfunker.com/radios/SEG2T.php (képek)
[2] http://www.noding.com/la8ak/33a.htm (képek, részletek, spektrumképek)
[3] http://docplayer.org/79955460-Erstellt-von-verein-freunde-der-mittelwelle-fuer-interessengemeinschaft-fuer-historische-funk-und-radiotechnik.html (Specifikáció, részletek, képek)
[4] http://www.la6nca.net/radio/juel/index.htm (képek)
[5] https://www.radiomuseum.org/forumdata/users/15752/MuseumsBote/Hefte/MB_2005_128_2.pdf (Specifikáció, részletek, képek)
[6] http://www.cdvandt.org/elster_dmg_2t.htm (képek)
[7] https://www.kriegsfunker.com/accessories/antennas/SZA2.html (antenna, képek)
[8] http://www.tubecollection.de/ura/wm_ds_typen.htm (elektroncső)
[9] Wlassits Nándor: Rövidhullámok 1934-1945. Békéscsaba, 2017. 214. old. (PKA kísérlet)
[10] Karl Rothammel: Antennakönyv, Budapest, 1975. 88, 158. old. (antennaillesztés)
[11] Dr. Istvánfy Edvin: Tápvonalak, antennák, hullámterjedés, Budapest, 1967. 440. old. (antenna)
[12] G.S.Ajsenberg: Kurzwellenantennen, Leipzig, 1954. 169. old. (antenna)
[13] The Radio Communicaton Handbook, London, 1968. 14.7 old. (antennaillesztés)
[14] https://aobauer.home.xs4all.nl/elster_dmg_2t.htm (képek)
[15] http://w2pa.net/HRH/new-circuits/ (Armstrong)
[16] http://images.slideplayer.com/16/5142730/slides/slide_14.jpg (chip)

Gépadók

Balás B. Dénes távközlési technikus, HA8BDE, bbdenes@freemail.hu

A szikratávíró technikájának fokozatos és megállíthatatlan fejlődésével az 1900-as évek elején elérkezett az ideje a kontinensek közötti drótnélküli távíróforgalom megindulásának. Guglielmo Marconi *ért el sikereket ebben és első, 1901 decemberi próbálkozása után hosszas kísérletezés eredményeként 1907-ben nagyméretű és nagyteljesítményű berendezéseivel megbízható szikratávíró kapcsolatot létesített Kanada és Írország között.*

A gépadók megjelenése

A kontinensek közötti rádiótávíró forgalom – elsősorban azért, mert a vevőkészülékek technikai fejlődése a detektoros berendezéseknél ideiglenesen elakadt – igényelte a nagyteljesítményű adóberendezéseket. Így a fejlesztőmérnökök feladata az egyre nagyobb teljesítményű adóberendezések létrehozása lett. Ugyanakkor nemzetközi egyezmények kötelezték arra a rádióállomások létesítőit, hogy a sok hátránnyal működő csillapított hullámú szikraadók helyett, csillapítatlan (folytonos) hullámú berendezéseket alkalmazzanak. A folytonos hullámok előállítására két fejlesztési lehetőség mutatkozott.

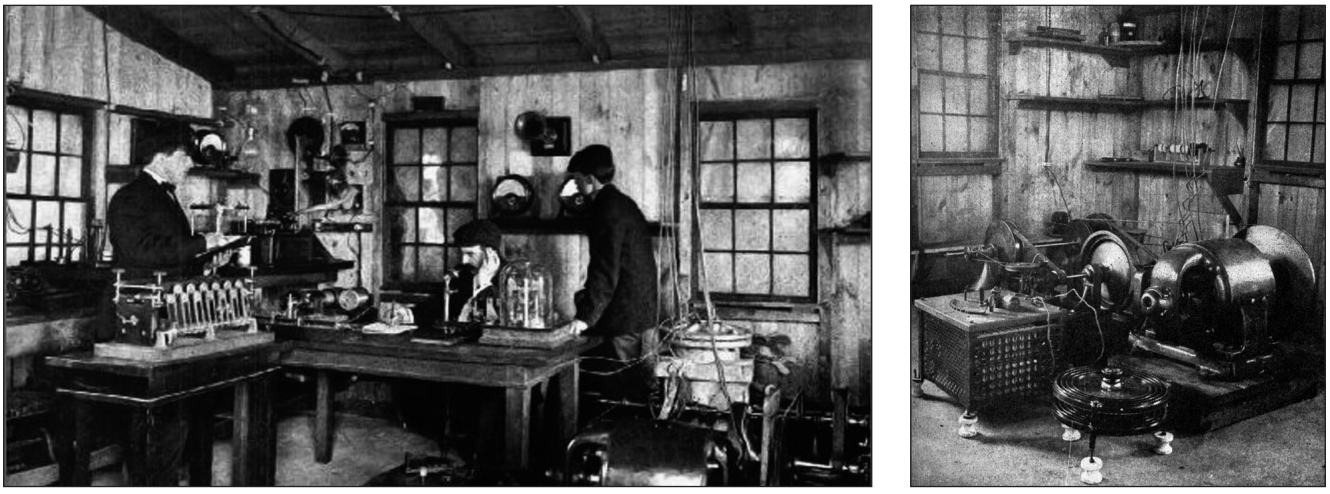
Az egyik a Poulsen-féle ívlámpaadók teljesítményének növelése, a másik a Fessenden-féle vagy ahhoz hasonló nagyfrekvenciás forgógenerátorok fejlesztése. Az ívlámpaadókkal az első világháború alatt több száz kilowattos teljesítményeket értek el, sőt a Federal cég az USA-ban megawattos adókat készített, de ezeket az adókat a világháború után hamarosan leállították, számos hátrányuk miatt üzemeltetésüket megszüntették. A nagyteljesítményű elektroncsövek (adócsövek) megjelenését megelőző időszakban a forgógépes, úgynevezett gépadók azonban annyira beváltak, hogy a húszas évek elején még több országban építettek ilyen állomásokat. (Például Magyarországon, 1924-ben és Svédországban, 1925-ben.)

Ezek a gépadók az 1910-es években kezdtek elterjedni, elsősorban azokban az országokban, melyek fejlett villamos gépiparral rendelkeztek. Németországot kell említenünk, ahol az AEG, a Lorenz és a Telefunken gyártott különféle rendszerű gépadókat, az Egyesült Államokat, ahol a General Electric cég az Alexanderson-féle gépadókat készítette. Franciaországban az Elzászi Mechanikai Konstrukciós Intézet gyártott *Béthenod* és *Latour* mérnökök által konstruált gépeket. Oroszországban *Vologdin* mérnök tervei szerint készültek gépadók. A 20-as években épített nagyteljesítményű gépadók legtöbbje a 40-es évek végéig üzemelt, ezután elektroncsöves adók vették át munkájukat.

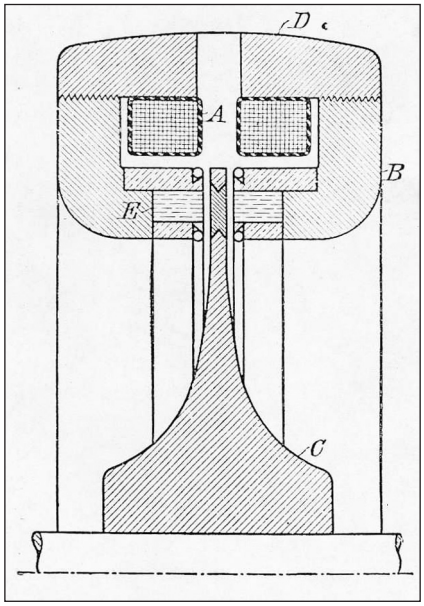
Az Alexanderson alternátor

A gépadó berendezések kiindulási alapját *Nicola Tesla* 15 000 Hz-es, 2 kW-os generátora képezte, melyet 1898-ban mutatott be. Bár nem arra szánták, hogy antennára kapcsolják, viszont megmutatta a lehetőséget hangfrekvenciás váltakozó áramok forgógépes előállítására.

Az első antennára kapcsolt generátort az Egyesült Államokban, *Fessenden* professzor valósította meg, aki 1902-ben, először egy 250 W-os 60 000 Hz-es forgógenerátort készített, hogy hangátviteli kísérleteihez csillapítatlan (folytonos hullámú) oszcillátorhoz jusson. Ez a frekvencia 5000 m-es hullámhossznak felel meg, tehát hosszúhullámú antennával ki lehetett sugározni. A gépadó szerkezetét nem ismerjük, viszont Fessenden ötlete alapján a svéd származású Ernst Alexanderson, a General Electric mérnöke, a Nemzeti Elektromos Jelző Társaság 1904-es megbízásából Schenectadyban készített egy gépadót, mely 1 kW teljesítménnyel 42 000 Hz frekvencián üzemelt. (A Nemzeti Elektromos Jelző Társaság Fessenden



1. kép. Fessenden kísérletezik Brant Rockban. A kép előterének jobb oldalán látszik az alternátor



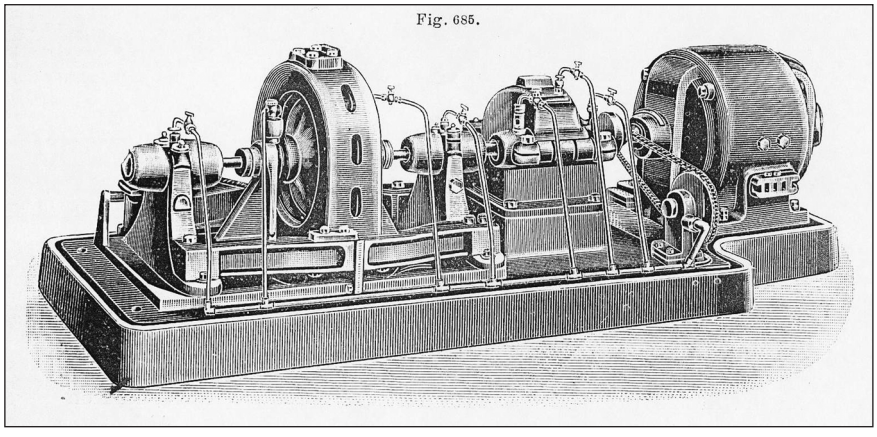
2. kép. Az Alexanderson-gép „jelgenerátorának” szerkezete

és két pénzember cége volt, ahova Fessenden még 1902-ben lépett be találmányainak hasznosítása céljából.)

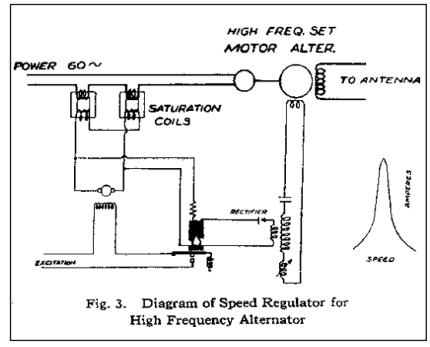
Az új gép különbözött az elsőtől, Fessenden neve eltűnt, és a további generátorokat már Alexanderson alternátoroknak nevezték. *Alexanderson* az elkészült gépet – ahogyan Fessenden nevezte, az alternátort – 1906 karácsonyára adta át Fessendennek, aki a Brant Rock-i (Massachusetts) rádióállomáson kezdett kísérletezni vele **(1. kép)**. Fessenden elsősorban hangátviteli próbákra használta a berendezést és műsort sugárzott vele, nem kis meglepetést okozva a környéken, az Atlanti-óceánon úszó hajók távírászainak. Az adást mintegy 80 km-es körzetben lehetett fogni. Először CQ-t, általános hívást adtak, majd Helen, Fessenden felesége és egy barátja énekeltek vidám karácsonyi énekket. Fessenden hegedűszólóval szerepelt, Gounodtól az „Ó ünnepi éj” című darabot adta elő, majd egy kis beszédet tartott. Felhívást intézett a műsor hallgatóihoz, hogy jelentsék, honnan hallották az adást. Végül fonográfra rögzített zenedarabokat közvetítettek.

A gép működési elve eredeti volt: a forgórész peremén háromszáz acélfog helyezkedett el, ezek az állórész tekercsei között mozogtak és az egyik tekercselés által gerjesztett mágneses erővonalakat metszették. Az állórész második tekercselése szolgált a nagyfrekvenciás áramok indukálására. A frekvenciát a fogak száma, a fordulatszám és a tekercselés határozták meg. A forgórészt, gyorsító áttétel segítségével, meglehetősen nagy fordulatszámon járatták. 1908-ra Alexanderson elkészült egy 2 kW-os 100 000 Hz frekvenciájú géppel, majd később úgy fejlesztette tovább gépeit, hogy a fogak számát növelte hatszázra, másrészt kettős tekercselést alkalmazott, mellyel 200 000 Hz frekvenciát lehetett elérni, ha a két tekercselést sorosan kapcsolta.

A **2. kép** félmetszetén látható Alexanderson gépének szerkezete. Az „A” tekercselés gerjesztette az állandó mágnesmezőt, mely a „B-D-E” jelű részek által képezett patkó alakú mágnest hozta létre. Ennek résében mozogtak a forgórész „fogai”. A fogak módosítva lettek, a légellenállás csökkentésére a „C” forgórész teljesen sima lett: úgy alakították ki a mágnesmezőt szaggató peremet, hogy a fogak helyett egyenlő távolságra lyukakat fúrtak a perembe és ezeket nem mágnesezhető fémmel (rézzel vagy alumíniummal) öntötték ki. Az „E” vasmag hornyaiban helyezték kétoldalt a szekunder tekercselést, melyben a nagyfrekvenciás áramok indukálódtak.



3. kép. Az Alexanderson-gép L. Graetz professzor könyvéből



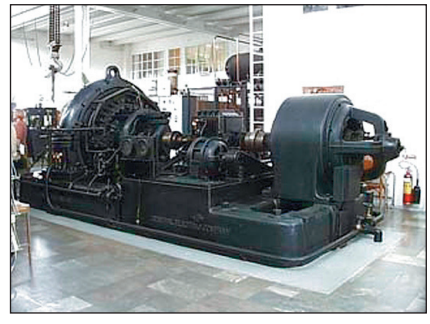
4. kép. A meghajtó motor fordulatszám szabályozásának kapcsolása

Alexanderson gépadója egyenáramú meghajtómotorból, gyorsító hajtóműből és magából a generátorból állt **(3. kép)**. A generátor kimenő kapcsairól a nagyfrekvenciás áramot egy hangolótekercs közbeiktatásával kapcsolták az antennára. Mivel a frekvencia és a teljesítmény növelése ellentétes követelményeket kívántak a konstruktőrtől és a géptől, Alexanderson 20 000 Hz frekvencián a teljesítmény növelését tűzte ki célul.

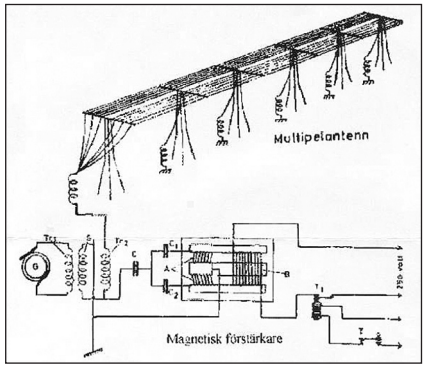
A legnagyobb teljesítmény 200 kW volt, amelyet gépadóival 1916-ra Alexanderson elért. Ezekből mintegy 20 berendezést szállított a világ különböző pontjaira.

A 200 kW-os gépadók billentyűzésére és a hajtómotor fordulatszámának szabályozására Alexanderson ötletes kapcsolásokat dolgozott ki. A generátor 64 tekercse egyenként 100 V/30 A villamosenergiát szolgáltat, ezek kapcsolása folytán 2000 V és 100 A áram kerül a kimenőtranszformátor szekunder tekercsére. A szekunder tekercs egy sorosan kapcsolt finomhangoló (variométer) tekercsen keresztül táplálja az antennát.

A billentyűzést a generátor kimenetére kapcsolt transzformátor harmadik tekercsének váltóáramú rövidre zárásával oldotta meg. Egy mágneses



5. kép. 200 kW-os Alexanderson gépegység napjainkban Svédországban a Grimetoni rádióállomáson



6. kép. A Grimetoni Alexanderson-adó antennakapcsolata és billentyűzése

erősítő vasmagját egyenárammal telítették és a megmaradó induktivitás a hozzákapcsolt kondenzátorral soros rezgőkört képezve kevesebb, mint 1%-ra csökkentette a kimenő energiát. A hajtómotor fordulatszámának szabályozását ugyancsak telített vasmagú szabályzók segítségével végezték (**4-6. kép**).

Goldschmidt gépe

A Fessenden által kipróbált és Alexanderson készítette – szabadalom védett – gépek inspirálták a német, francia és orosz mérnököket hasonló, de más rendszerű generátorok tervezésére.

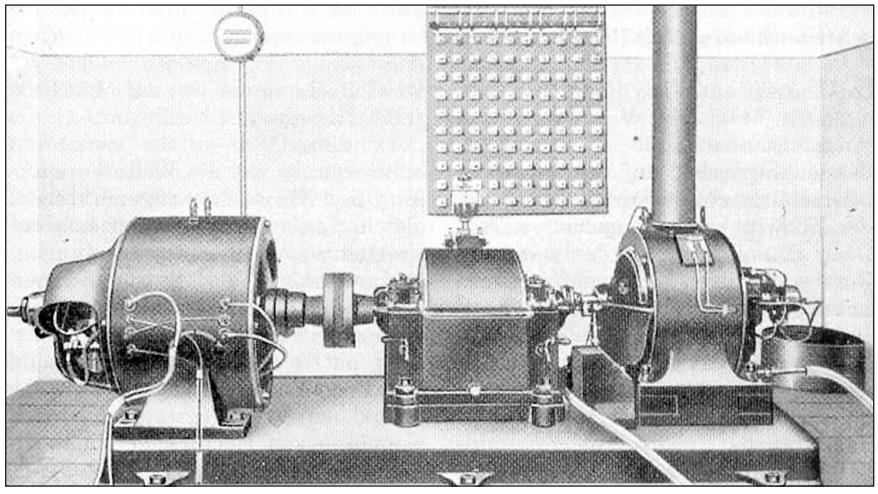
A második gépadó rendszer megalkotása a német *Goldschmidt* mérnök nevéhez fűződik. Generátorában kihasználta azt az ismert elvet, hogy egy villamos gépen belül mindig megjelenik az alapfrekvencia kétszerese vagy többszöröse is. Hajtómotorból és két váltóáramú generátorból álló gépcsoportot állított össze, ahol az első generátor által termelt harmonikus energiát a második gépre vezette, onnan, pedig hangoló elemek segítségével megnégyszerezve vette ki **(7. kép)**.

1910 áprilisában a Lorenz cég Eberswalde-i állomásán üzemelték be az első Goldschmidt-gépet. Ez 12,5 kW teljesítményt adott 80% hatásfok mellett, 10 000 m hullámhosszon, míg 4 000 m-en még mindig 8-10 kW-ot tudott leadni. A Lorenz cég megvette a licencet és nagyteljesítményű gépegységeket gyártott, pl. 1925-ben már üzemelt egy 500 kW-os gépadó a cég laboratóriumában, Berlinben, a Magdeburger-Platzon.

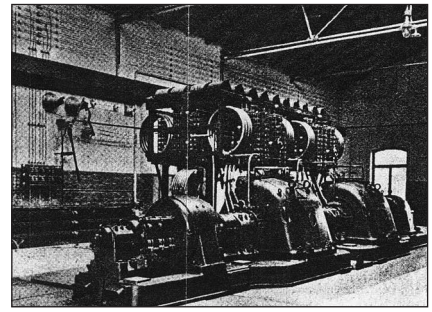
A Goldschmidt-rendszert a német AEG (Allgemeine Elektricitat Gesellschaft) támogatta és több rádióállomását ilyennel rendezte be. Goldschmidt úgy módosította gépcsoportját, hogy az egyik generátor négyszerezte, a másik ötszörözte az alapfrekvenciát, így az első gép 1 500 × 4 = 6 000 Hz-et, míg a második 6 000 × 5 = 30 000 Hz frekvenciát állított elő.

Az AEG 1912-ben, a Hannover melletti Neustadtban, olyan Goldschmidt-gépet helyezett üzembe, melynél egy 370 kW-os motor két 150 kW-os generátort hajtott, és így közel 150 kW energiával jutott ki az antennára a 40 000 Hz-es nagyfrekvencia. A fordulatszám állandóságát az AEG úgy érte el, hogy a jeladás szüneteiben műterhelést kapcsolt a generátorokra, nehogy a fordulatszámuk növekedjen.

1912-ben az USA-beli Tuckertonban a Telefunken cég 200 kW-os Goldschmidt adót telepített, de Goldschmidt lehetségesnek tartotta 600 kW teljesítmény elérését is **(8. kép)**.



7. kép. Kísérleti Goldschmidt-gép 1908-ból



8. kép. Goldschmidt gépcsoport az Eilvese-i Lorenz rádióállomáson 1915-ben

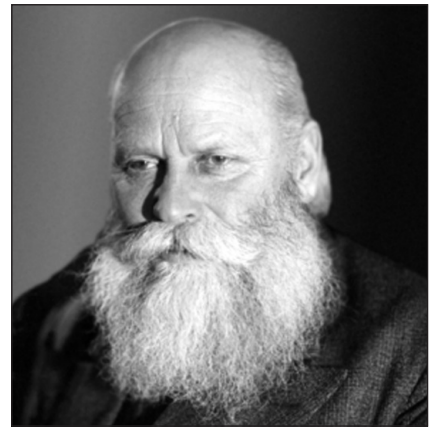
Vologdin-adók

Oroszországban Vologdin mérnök **(9. kép)** tervezett gépadó berendezéseket, melyet jó hatásfokú, takarékos rendszernek ismertek. (Működési elvét nem sikerült kiderítenem.)

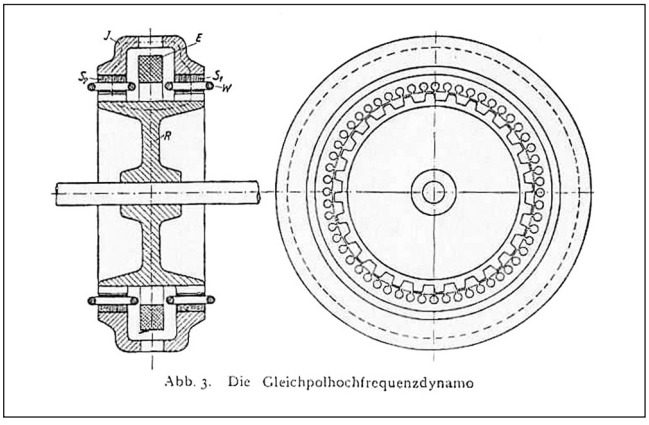
Vologdin az első 6 kW-os gépadóját még 1912-ben építette, majd egyre nagyobb egységeket konstruált. Az 1920-as években 50 és100 kW-os gépadói tartották a kapcsolatot Moszkva és New York között. 1930-ban 600 kW-os Vologdin-gépadó épült. (Ezt az információt nem sikerült ellenőriznem. Az adat azért gyanús, mivel 1933-34-ben készült el a szovjetek ugyancsak 500 kW-os elektroncsöves óriásadója, melyet később „Kommintern-adónak" neveztek és nem tudni, nem keverte-e össze valaki a két berendezést?)

Arco-rendszer – TFK

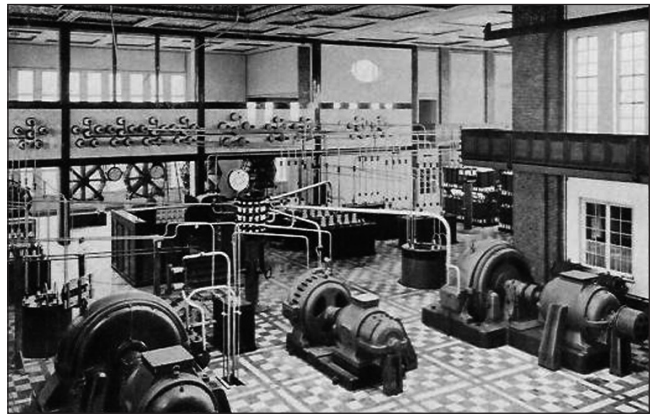
Az ismert negyedik rendszert, a Telefunken cég Arco-féle gépadóját 1912-ben mutatták be, majd az első nagyteljesítményű egységet 1914-ben építették fel. Rendszerük a fentiektől teljesen eltérő volt. Áramforrásként



9. kép. Vologdin mérnök



10. kép. Arco-rendszer sokpolusú jelgenerátorának metszete



11. kép. A nagy gépterem Nauenban

egy ún. középfrekvenciás generátort alkalmaztak, mely az erősáramú iparban nem számított ritkaságnak. (Ennek viszonylag alacsony fordulatú forgórésze 3000/perc fordulatszámmal forgott. Az alacsony fordulatszám jelentősen egyszerűsítette a gép üzemeltetését.)

Ez az ún. sokpólusú generátor **(10. kép)** csak 10 000 Hz frekvenciájú áramot adott, azonban ezt a frekvenciát passzív, frekvencia-kétszerező transzformátorokkal megnövelték. Általában két pár frekvencia-transzformátorral, két fokozatban négyszerezték a frekvenciát. Az így kapott 40 000 Hz, a 7 500 m-es hosszúhullámnak felel meg.

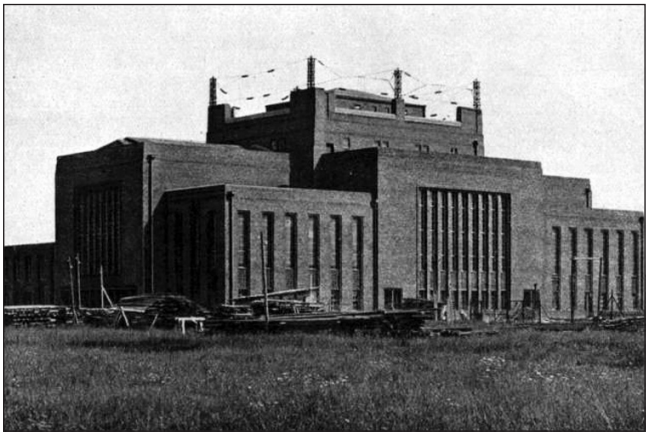
A telitett vasmagú transzformátoros frekvenciakétszerezés eredetileg *Joly* és *Vallauri* találmánya volt, de mivel a Telefunken alkalmazta a módszert, sőt jelentős módosításokat végeztek rajta, a kialakított gépadót Arco-rendszernek nevezték el. *Mende Jenő* tanár 1921-ben kiadott könyvében így magyarázta a működését:

„Transzformátor vasmagjára tekercselt vezetéken bocsássunk át egyenáramot úgy, hogy a vasmag mágnessége telített legyen. Ugyanerre a magra csévéljünk másik tekercset is, és bocsássunk át rajta váltakozó áramot. Mikor a két áram megegyező irányú, a mágnesség nem erősödik, mert az egyenáram már telítette a mágnest. Ellenben a másik félrezgés alatt, mikor a két áram ellenkező irányú, a mágnesség gyengül. Ha a transzformátor magján szekunder vezeték is van, ebben csak akkor keletkezik indukált áram, mikor az erővonalak száma változik, vagyis mikor a két áram ellentétes irányú.

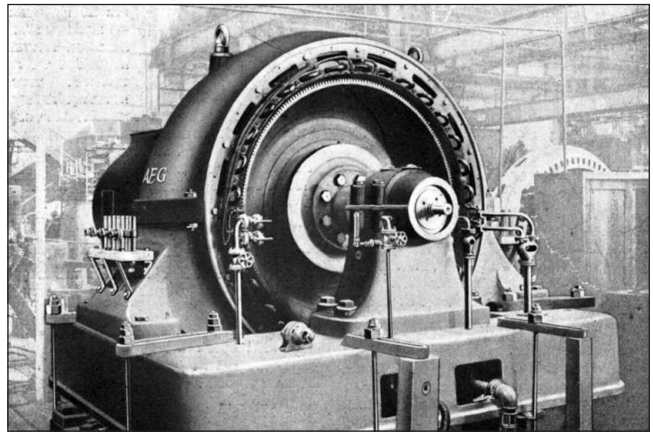
Joly és Vallauri egyenárammal két transzformátor magját a telítésig mágnesezik. Az átalakítandó áramot mindkét transzformátor primer tekercsén átvezetik. A két szekunder tekercset egymás után kapcsolják. (…..) A két áram eredője kétszeres váltakozású."

Tehát a szekunder tekercsek utáni rezgőkörre az egyik transzformátor a negatív, a másik a pozitív félperiódusokat engedte át. Ezt ma egy Graetz-kapcsolású dióda-híddal könnyedén megvalósíthatjuk, de abban az időben, a szükséges 200-300 A-t áteresztő diódák még nem léteztek. A passzív elemként szereplő frekvencia transzformátorok miatt az Arco-rendszer hatásfoka 60%-os volt, ezt később (az 1920-as évekre) egy *Schmidt* nevű mérnök szabadalmának felhasználásával 66%-ra tudták javítani.

A Telefunken vezetőjeként *Georg Arco* gróf több találmányt dolgozott ki. Nevéhez fűződik például a transzformátoros frekvencia-többszöröző modulálásának megalkotása, mellyel egy sikeres rádiótelefon gépadót szerkesztett. Lényegében ez a gép sem tért el a távírásnál használt, fent említett gépcsoporttól. Itt lehetőség volt arra, hogy a második frekvenciakétszerező transzformátor vasmagján egy külön tekercs és szénmikrofon segítségével modulálják a nagyfrekvenciás áramot. Ilyen gépet először 1912-ben Londonban mutatott be a Telefunken cég, ahol kísérleti jelleggel, 2 kW teljesítménnyel, sikerrel szerepelt, zenét és beszédet sugárzott. Ezt a gépadót 1913-ban átvitték az Egyesült Államokba és New Yorkban rendeztek vele bemutatót. Ugyancsak 1913-ban Nauenban már egy 6 kW-os géppel

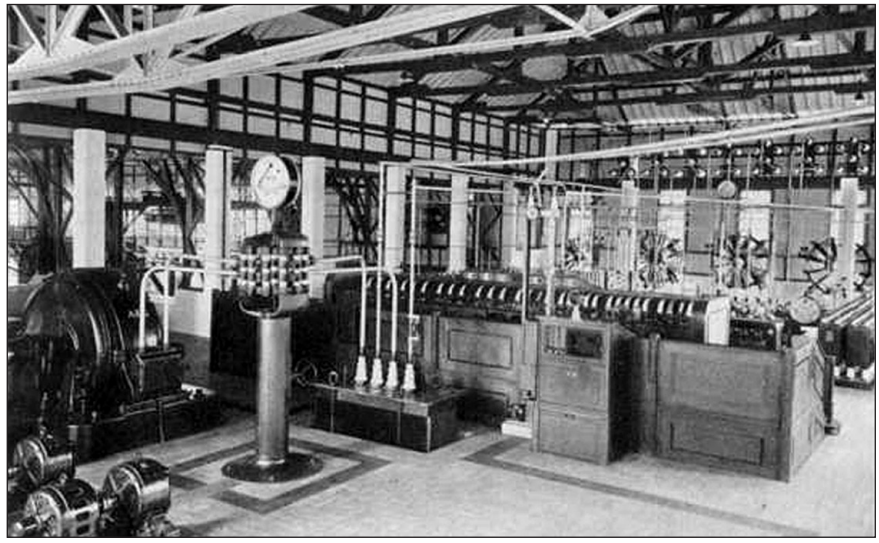


12. kép. Az új adóépület Nauenban



13. kép. A naueni 400 kW-os gépadó frekvenciagenerátora

14. kép. Kootwijk adóház



15. kép. Malabar adóterem

kísérleteztek, majd a következő évben ott egy 100 kW-os Arco-gépadót helyeztek üzembe.

Az Egyesült Államokban, Sayvilleben a Telefunken cég 1913-ban fejezte be egy nagy távíró adóállomás építését, mely először szikraadóval, majd később, 1915-től 100 kW-os Arco-rendszerű gépadójával Németországgal tartotta a kapcsolatot. Az első világháború kitörése után a Marconi-társaság akciót indított, hogy az Egyesült Államokban működő Telefunken állomások üzemelését szüntessék be. *Braun* professzor a Telefunken képviseletében személyesen utazott Amerikába, és sikerült is annyit elérnie a hatóságoknál, hogy az Egyesült Államok hadba lépéséig a Telefunken állomások tovább üzemelhettek. Amerika hadba lépése után, 1917-ben a Sayville-i állomást leállították, és ezzel a Telefunken hálózatból, mint közvetítő állomás kiesett. Pótlására egyrészt ismét megemelték a naueni adó teljesítményét (ezúttal 400 kW-ra),másrészt kiküldtek egy reléadót az Atlanti-óceánra, az „U-Deutschland" nevű tengeralattjáró fedélzetére. Ez az állomás Németország felé továbbította az amerikai parton leadott táviratokat, köztük állítólag kémjelentéseket is. Ugyanebben az évben, Mexikóban is megkezdték egy Telefunken állomás építését.

A legnagyobb Arco-gépadó állomás végül a németországbeli Nauen-i maradt. Az 1920-ban elkészült épületében és antennarendszerén egy 150 kW-os és egy 400 kW-os gépadót helyeztek el (**11-13. kép**). A 150 kW-os adó generátora 8 000 Hz-cel a 32 000 Hz-es kisugárzott frekvenciának volt a forrása, 9 400 m hullámhosszal, míg a 400 kW-os adó 25 000 Hz-cel, a 12 000 m-es hullámhosszon dolgozott. (A 400 kW-os antennateljesítményt a hatásfok miatt a valóságban 600 kW-os, 6 000 Hz-es generátor szolgáltatta.)

Az állomás nagyobbik, 2,4 km-es, „A"-antennáját, mely a tengerentúli forgalmat szolgálta, középen két 260 m magas, a két végén pedig két-két 120 m-es torony tartotta. A kisebbik ún. „B"-antenna egy 134 m és két 150 m-es torony közé feszítve az Európa-i forgalmat bonyolította. A 134 m-es torony tetején egy 17 m-eskereszttartó rögzítette az antennaszálakat.

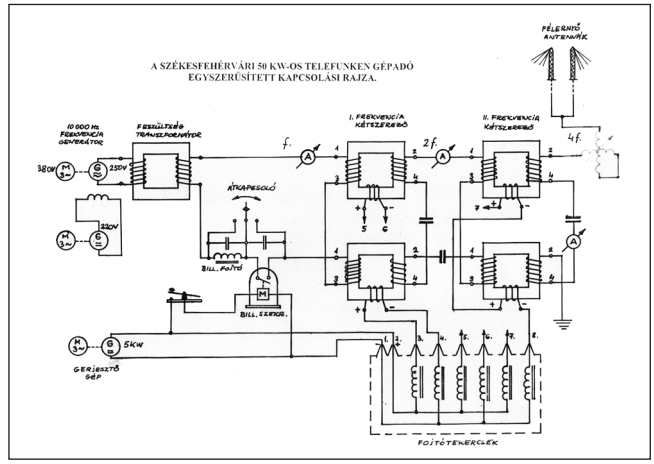
1918-ban a rádióösszeköttetések távolsági világrekordját a 400 kW-ra növelt antennateljesítményű naueni adó tartotta 19 300 kilométerrel, egy De Forest(?) rendszerű állomással, mely Új-Zélandról küldte válaszait.

1918 végén a holland hatóságok rendeltek két darab 400 kW-os Telefunken gépadót a TFK-tól. Az egyiket Kootwijk Radio telephelyén, a másikat Radio Malabar állomásán állították fel (**14-15. kép**). (Amikor 1923. május 5-én Malabar rádióállomáson a 2 400 kW-os ívlámpaadó megnyitó ünnepélyén elromlott a Poulsen-rendszerű ívlámpaadó, a Telefunken adó segítségével továbbították a holland királynőnek szóló üdvözlő táviratot.)

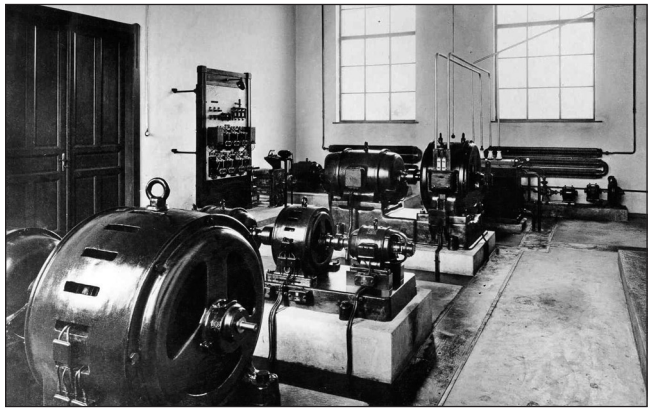
Telefunken gépadó Magyarországon

Magyarországon egyetlen gépadóról tudunk. A Székesfehérvár Rádióállomáson 1924-ben telepített berendezés Arco-rendszerű és Telefunken gyártású volt, forgógépeit viszont az AEG szállította (**16-17. kép**). A 10 000 Hz-es generátort háromfázisú, 150 Le-s, 100 kW-os, 3000 fordulatú aszinkronmotor hajtotta, és az így előállított frekvenciát, két frekvenciakétszerező fokozat – melyek mindegyike két-két transzformátorból állt – növelte 40 000 Hz környékére. Ezt a frekvenciát sugározták ki a két toronyra épített félernyő antennák segítségével.

A gépadó hívójele HAX, nemzetközileg kiutalt és elfogadott hul-



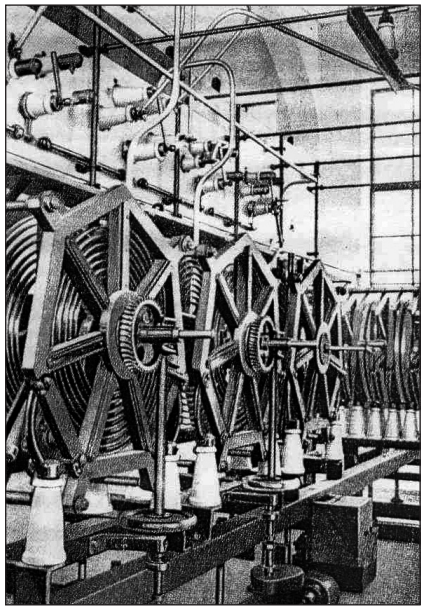
16. kép. Az 50 kW-os Telefunken gépadó egyszerűsített kapcsolási rajza. Székesfehérvár, 1924



17. kép. Gépterem a Székesfehérvári rádióállomáson, 1924-ben. (Hátul, az ablakoknál a két 50 kW-os frekvenciagenerátor)

18. kép. Az 50 kW-os Telefunken gépadóterem a frekvencia-transzformátorokkal. Székesfehérvár, 1924

lámhossza 8 080 méter volt. Mivel ennek 37 128 Hz frekvencia felel meg, a frekvenciagenerátort olyan fordulatszámon kellett járatni, mely 9 282 Hz-et biztosított. A generátor frekvenciastabilitását a meghajtómotor forgórészébe kötött ellenállások ki- és bekapcsolásával biztosították. A sokpólusú generátor állórészébe 200 hornyot alakítottak ki, melyekbe kettős tekercselést fektettek. Az egyik tekercselés az egyenáramú gerjesztés céljára szolgált. Ez hozta létre a gép belsejében a nyugvó mágnes mezőt, amelyet aztán az ugyancsak 200 horonnyal ellátott tömör (tekercselés nélküli) forgórész fogai változtattak. A második tekercselés az indukált hangfrekvenciás áramok előállítására szolgált. A generátorból kapott jel



19. kép. Antennahangoló tekercsek Fehérváron

négyszög impulzus alakú volt, a frekvenciakétszerező transzformátorok alakították át szinusszá.

Az egyenáramú gerjesztéshez 220 V egyenáramot használtak, melyet külön gerjesztőgép állított elő, a hangfrekvenciát pedig 250 V feszültséggel, 240 A áramerősséggel szolgáltatta a generátor. (A két adat szorzata adja a gép látszólagos teljesítményét a 60 kVA-t. Ezt szorozva a cos fi-vel, kapjuk a generátor 50 kW-os hatásos teljesítményét.)

A rezgéskeltő generátor után még a forgógépek helyiségében feszültségnövelő transzformátorra került a generátor egyébként alacsony, 250 V-os feszültsége, majd rézcsöveken át, vezették a frekvencia transzformátorokhoz.

Az eredeti 1924-es telepítésnél a billentyűzés a 10 000 Hz-es vezetékben történt, egy soros, ún. billentyűzőfojtótekercs közbeiktatásával. A billentyűzésnek megfelelő kapcsolásokat külön szekrényen elhelyezett kontaktorok (mágneskapcsolók) végezték. (Valamikor a 30-as évek elején a gépadót átalakították, és a billentyűzést a gerjesztő generátor áramkörébe tették át. Ez akkor lényeges korszerűsítésnek számított.) A gépadóterem végét lezáró fal előtti hatalmas márvány-táblára műszereket és háromfokozatú átkapcsolót szereltek **(18. kép)**. A műszerek az egyes fokozatok között folyó áramokat mérték, míg az átkapcsolókkal lehetőség volt a transzformátorok szekunder körében lévő kapacitások változtatására. A kapacitást üvegedényben, olajban álló papír-kondenzátorok adták. (Elvileg kihangolható volt a frekvencia-transzformátorok szekunder köre nem csak a kétszeres, hanem a háromszoros frekvenciára is, de ezt a lehetőséget Székesfehérváron nem használták.)

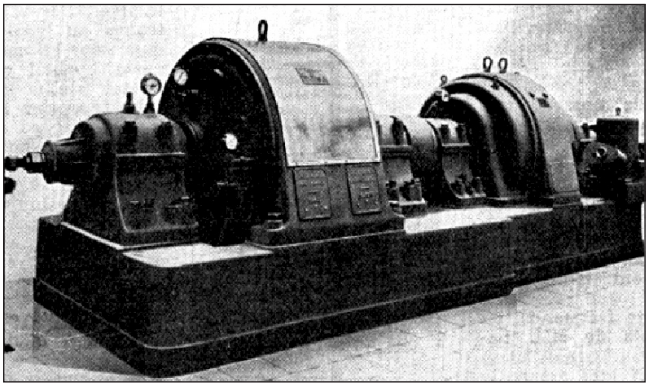
A márványtáblárol a négyszerezett frekvenciájú áram a tábla mögött elhelyezett antenna-hangoló tekercsekre **(19. kép)**, majd párhuzamos kapcsolásban két tápvezetéken keresztül a két félernyő-antennára jutott.

Az adóház egyébként a két 150 m magas antennatartó torony között, középen helyezkedett el, hogy az antennákra minél rövidebb tápvonalakkal lehessen csatlakozni. A gépadó frekvencia-transzformátoraiból kijövő másik vezetéket leföldelték.

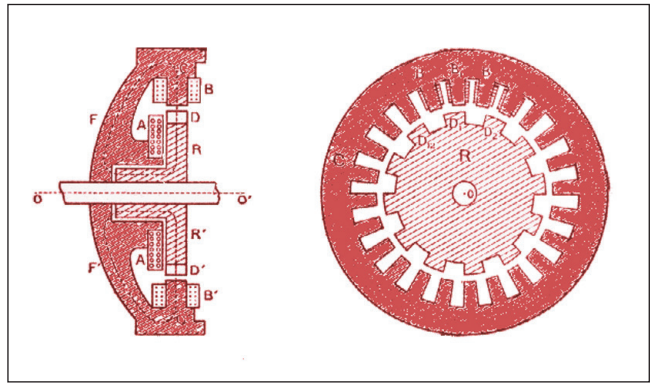
A földrendszer mai szemmel nézve rendkívül bonyolult volt. Az állomás területén összesen 304 földcsillagot ástak le kb. 50 cm mélységbe, a földbe, 39 000 méter vezeték felhasználásával. Egy-egy csillagalakban 7 szál vezetéket fektettek le, melyek a csillag középpontjában egy faoszlopon lettek összegyűjtve. A csillagpontokat már a föld felett vezetett vezetékrendszerrel további gyűjtőpontokra, majd az adóházba vezették be. Telefunkenék ezt a rendszert Krallen-Erde-nek (karom-földnek) nevezték és kombinációja volt az ellensúlynak és a földelésnek.

Béthenod – Latour rendszerű gépadók

Franciaországban Béthenod és Latour mérnökök (Maurice Latour telefonmérnök 1917-es szabadalma alapján) terveztek nagyfrekvenciás gépeket 20 000 Hz-en, több száz kilowatt teljesítmény előállítására. A gépeket az Elzászi Mechanikai Konstrukciós In-



20. kép Béthenod – Latour-féle gép



21. kép. Béthenod – Latour-féle jelkeltő metszete

tézet gyártotta Belfortban **(20. kép)**. Az Alexanderson és egyéb gépekkel ellentétben, ezekben a gépekben koncentrikusan a csapágyak körül – általában a pajzson – elhelyezett gerjesztő tekercseket alkalmaztak, összesen kettőt (a gép két végén) vagy hármat. A gerjesztő mágnes kör így a pajzson, az állórészen és a forgórészen át, záródott **(21. kép)**. Ez önálló konstrukció volt, és úgy tűnik egyszerűbbnek bizonyult a német, sőt az amerikai gépeknél is. Ilyen típusú 500, 250 és 25 kW-os gépekkel szerelték fel a francia posta transzkontinentális és Európával forgalmazó rádiótávíró állomását Sainte Assise-ben, valamint 200 kW-os gépekkel a Lyon-i rádióállomást.

A Sainte Assise-i állomás 250 kW-os gépadója 3 000 fordulat mellett 20 400 Hz frekvenciát adott, az 500 kW-os gépadó 2 500 fordulaton, 15 000 Hz-el dolgozott. Az európai kontinentális forgalomra két 25 kW-os gépadó szolgált, melyeket az állomás külön épületében állítottak fel. (A gépadók itt is két-két gépcsoportból lettek felépítve.) Az egyik adó 6 500 fordulaton, 35 000 Hz frekvenciával, a 8 600 m-es hullámhosszon, a másik gépadó 5 000 percenkénti fordulattal, 27 000 Hz frekvenciánál a 11 000 m-es hullámhosszon sugárzott.

Ez a rádióállomás úgy teljesítményében, mint technikai színvonalát tekintve méltó versenytársa volt a német Nauennak **(22. kép)**.

Franciaország német megszállása után, valószínűleg 1940-végétől 1942 végéig, ez a rádióállomás szolgálta ki a német tengeralattjáró-flotta Párizs-i irányítóközpontját. A gépadók egy része ekkor még üzemben volt, az alámerült tengeralattjárókat csak ilyen alacsonyfrekvenciás, nagyteljesítményű adókkal lehetett elérni.

Lyonban 1919 júliusától működött egy 200 kW-os 3 000 fordulatú alternátor, mely 20 000 Hz frekvenciát sugárzott ki. A berendezést ugyancsak az Elzászi Mechanikai Konstrukciós Intézet készítette Béthenod és Latour tervei alapján. Ez a berendezés 1942-től a német haditengerészet alámerült tengeralattjáróival tartotta a kapcsolatot, majd 1944-ben megsemmisült. Az egyik alternátor megmaradt, felmetszett állapotban a Lyon-i Ampére Múzeumban megtekinthető.

A párizsi Eiffel-torony állomáson 1917-ben állítottak üzembe egy 20 kW-os gépadót **(23. kép)**. Nem tudjuk kinek a gyártmánya, csak feltételezzük, hogy ez is Béthenod-Latour rendszerű volt.

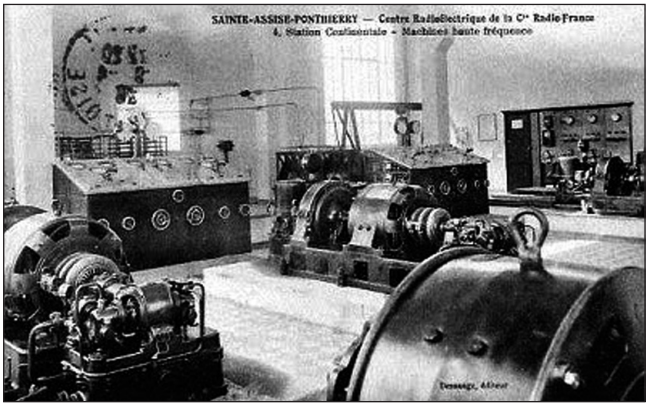
Bordeaux mellett a „Lafayette” állomáson 1923-24-ben állítottak üzembe egy 500 kW-os Bethenod-Latour-féle gépadót. Hatásfoka 84%, tényleges teljesítménye 350 kW, hívójele FYL, hullámhossza 19 150 méter volt.

A gépadók antennái

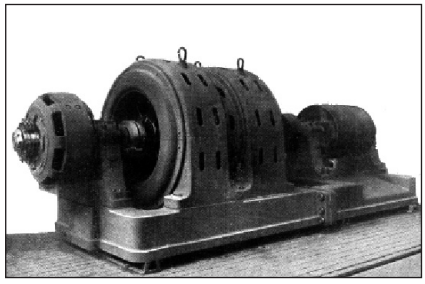
A gépadók által használt alacsony, 15-40 kHz frekvencia hosszú hullámhosszaknak felel meg, ezért különösen a tengerentúlra dolgozó adóállomásokon hatalmas antennarendszerek épültek. Ezeket 100-250 m magas tornyokra feszítették és irányban az ellenállomás felé állították be.

Általában 10-16 szál sodronyt feszítettek ki vízszintesen és egymással párhuzamosan, a végeken pedig a levezetéseket legyezőszerűen összevezették, összekötötték. Az így létrejött antennákat Marconi-antennának vagy tört-antennának nevezték. Ismereteim szerint Marconi már 1905-ben szabadalmaztatta ezt az antennafajtát.

Alexanderson a gépadóihoz saját konstrukciójú antennáját építette fel.



22. kép. A francia Sainte Assise-i állomás



23. kép. 20 kW-os gépadó az Eiffel-torony állomáson

Ez abban különbözött Marconiétól, hogy az antenna alatt ellensúlyt feszítettek ki és az antennát minden tartóoszlopnál hangolható soros induktivitásokkal az ellensúlyhoz lezárták. A soros köröket áram-maximumra hangolták, az antenna huzalok, mint magasfeszültségű (100 kV) tápvonalak és tetőkapacitások szerepeltek. A hullámhosszhoz képest az áramkörök (oszlopok) között kicsi a távolság, így az antennaáram (600-800 A) fázisszöge majdnem ugyanaz.

A naueni 400 kW-os Arco gépadó antennája középen volt táplálva, hatalmas T-antennaként működött.

A Sainte Assise-i állomás hatalmas antennarendszere egyszerre négy gépadót tudott kiszolgálni: a transzkontinentális célú „L”-antennákat 8-8 db 250 m magas torony közé feszítették, míg a két kicsi, 25 kW-os adó antennáit egy 250 m magas torony tartotta. A két 25 kW-os adó antennái lényegében két félernyőnek feleltek meg, egyenként 9-9 szállal.

A Tuckertoni Telefunken állomáson (valószínűleg 1912-ben) ugyanazt az antennát építették meg, mint abban az időben Nauenben is: egy 250 m-es toronyra Telefunken ernyőt feszítettek. A 250 méteres torony két részből állt: egy 150 m-es alsó és egy 100 m-es felsőből. Mindkét toronyrész irányonként két-két kötéllel, az egész torony három irányban összesen 12 kötéllel lett kihorgonyozva. 1955-ig bírta...

A Sayville-i adó antennájáról csak annyit sikerült megtudni, hogy 1915-ben építették 150 m-es tornyokra szerelve. Rendszere lehetett Európára irányított T-antenna, de lehetett ernyőantenna-rendszer is, mint akkoriban a Naueni.

Székesfehérváron két darab 150 m-es toronyra, három antennát szereltek: a két torony közé egy ún. háztető antennát – ez egy lámpaadóé volt –, a tornyok külső oldalára pedig egy-egy félernyő antennát. A két párhuzamosan kapcsolt félernyőre az 50 kW-os gépadó dolgozott. Érdekessége volt ennek az antennának, hogy *Magyari Endre* mérnök, a harmincas években, a káros zúzmarásodás ellen kidolgozta az elektromos fűtését.

Az RCA New York-i állomásának (Rocky Point) antennarendszerét tervezték a legnagyobbnak a világon. 12 antennát képzeltek el, egyenként hat-hat tartóra feszítve, a szélrózsa 12 irányára. Gyakorlatilag 30 fokonként bármilyen irányban tudtak volna sugározni. Azonban a hatalmas (3712 hektár) területen, 1800 tonna acél felhasználásával csak két irány épült meg. Egy-egy torony 125 m magas volt, a felső, vízszintes kereszttartók 45 m hosszúak. A tornyok egymástól mintegy 375-380 m távolságra álltak. (A tornyokat 2,7 m mélyre alapozták, összesen 8000 tonna beton felhasználásával.) Maga a sugárzó antenna 16 szál szilicium-bronz huzalsodronyból állt, melyeket egymással párhuzamosan, egymás mellé, a vízszintes kereszttartók közé feszítettek ki. (Az első két antenna rendszerhez 50 mérföldnyi sodronyt használtak fel, azaz egy szál hossza 2,5 km volt.) Hasonló tekintélyes földelő rendszer készült 450 mérföldnyi rézhuzal lefektetésével.

A gépadók korszakának vége

Az 1930-as években az adócsövek gyártása olyan fejlettségi fokra jutott, hogy már 100-150 kW-os, megbízható, viszonylag hosszú élettartamú gyártmányok készülhettek. Ennek eredményeként a 100 kW-os, csöves adóberendezések kezdtek elterjedni. Például Magyarországon is 1933-ban épült a Lakihegy-i 120 kW-os nagyadó, de az Egyesült Államokban és a Szovjetunióban egy-egy 500 kW-os „óriásadót” létesítettek. A csöves berendezéseknek ugyan rosszabb volt a hatásfoka, egyes források szerint csak 36-40%, de magasabb frekvencián, nagy frekvenciastabilitással dolgoztak és jóval gyorsabban adták a táviratokat, mint a gépadók. A gyorstávíró rendszerek követelményeit a gépadók alig tudták kielégíteni. Mindezek mellett a kutatások és kísérletek eredményei a húszas évek végére bebizonyították, hogy a rövidhullámú sávokban egy nagyságrenddel kisebb teljesítménnyel megbízható hírközlést lehet létrehozni. A harmincas évek elején már Magyarország is üzembe állította az első két rövidhullámú „lámpaadóját”.

A gépadók üzemeltetése korántsem volt egyszerű. A forgógépek kenése és hűtése, valamint a frekvenciaállandóság biztosítása állandó gondokat okozott a kezelőknek. A tengerentúli forgalomban, ahol a nagy teljesítmény eléréséhez komoly beruházásokra volt szükség, egy ideig még dolgoztatták a 200-500 kW-os gépadókat, de a kisebbeket hamarosan leállították. Magyarországon 1944-ben szedték szét a gépadót, de akkor már évek óta nem dolgozott. (A székesfehérvári gépadó egyik 50 kW-os generátora megmaradt, a diósdi Rádió-Televízió Múzeumban megtekinthető.)

A Svédországi Grimetonban egy 200 kW-os Alexanderson-féle alternátor még mindig üzemképes állapotban van. Látogatók számára megtekinthető, pár percre néha beindítják. Utolsó információnk: 1996-ban amerikai rádióamatőrök kérésére – akik fogták az adását – fél órát üzemelt. Mivel látogatók részére előfordul, hogy beindítják vélhetően nem az 1996-os üzeme volt az utolsó.

Irodalom:

Balás B. Dénes: Egy gépadó Magyarországon, RT Évkönyv 2000, Budapest.

Hans Günther: A rádió diadalútja, Pallas Irodalmi és Nyomdai Rt., 1924 Budapest.

L.Graetz: Die Elektrizitat Verlag von J. Engelhorns Nachf, 1914 Stuttgart.

Kurt Jager: Funktechnik hilft dem Generatorenbau, FunkGeschichte 23 (2000) Nr. 129.

Molnár-Jovitza: Rádiósok könyve, Győző Andor kiadása, 1933 Budapest.

Technikai Lexikon, Győző Andor kiadása, 1928 Budapest.

Internetről:

The Telefunken/Sayville Wireless FLIWH General Information.

Graf Georg von Arco: Die modernen Sender ungedämpfter Schwingungen in der drahtlosen Telegraphie VI, Telefunken Zeitung 1921(?)

K. Quack: So ward Nauen, Telefunken Zeitung.

Captain Linwood S. Howeth : History of Communications-Electronics in the United States Navy. Chapter XI., Chapter XX. USN 1963.

Wikipedia, the free encyclopedia: Alexanderson alternator.

Joachim Beckh: Blitz und Anker, Band 2: Informationstechnik, Geschichte u. Hintergründe.

akció a HAM-bazárban!

Nov. 1. – dec. 21. között minden 20 eFt feletti vásárlás után ajándék jár.*

készülékek – modulok – kitek

DSO150
oszcilloszkóp kit
14.490 Ft

Kijelző: 52 x 40 mm TFT color

Kiváló szkóp kezdőknek, mérőfejjel.
Elektromosan összeszerelt, csak dobozolni kell.

Max. m.vét. arány: 1 MSa/s
200 kHz-es analóg sáv.szél.
Y-érz.: 5 mV/div … 20 V/div
Max. bem.jel: 50 Vcs-cs
Bem. imp.: 1 Mohm/20 pF
Felbontás: 12 bit
Időalap: 500 s/div … 10 us/div
Trigger: auto, normál, egyes

Tápfesz.: 5 V DC (8 ... 10 V)
Tápáram: 120 mA/9 V

Súly: 0,1 kg

LCR-T4
multiteszter kit
7.990 Ft

Kijelző: 12 x 64 px LCD monó

Szinte mindent tud!
Elektromosan összeszerelt, csak dobozolni kell.

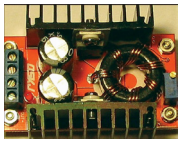
Automatikusan felismer és lemér: npn, pnp tranzisztort, jFET-et, MOSFET-et, tirisztort, diódát, LED-et.
Kivezetés azonosítás.
L-mérés: 0,01 mH … 20 H
C-mérés: 25 pF … 0,1 mF
R-mérés: 0,1 ohmtól

Kijelzés háttérvilágítással
Táplálás: 9 V DC
Méret: 110 x 85 x 25 mm

60 W-os monó hangerősítő modul
2.990 Ft

Ut = max. 24 V/ 8 ohm
TPA3118 IC-vel
Mute funkció
Méret: 46 x 35 mm

150 wattos DC/DC fel-konverter modul
2.990 Ft



UC3843N típusú IC-vel

A bemeneti egyenfeszültségből magasabb kimeneti egyenfeszültséget produkál.

Bemenőfesz.: 10 … 32 V
Bemenőáram: 16 A (max.)
Kimenőfesz.: 12 … 35 V állítható
Kimenőáram: 10 A (max.)
Kimenőtelj.: 150 W hűtéssel!
Hatásfok: 92% (max.)
Nyug. tápáram: 25 mA
Méret: 65 x47 x 24 mm
Súly: 0,1kg

100 wattos DC/DC fel-konverter modul
1.490 Ft

XL6009 típusú IC-vel

A bemeneti egyenfeszültségből magasabb kimeneti egyenfeszültséget produkál.

Bemenőfesz.: 3 … 32 V
Bemenőáram: 4 A (max.)
Kimenőfesz.: 5 … 35 V állítható
Kimenőáram: 10 A (max.)
Kimenőtelj.: 100 W hűtéssel!
Hatásfok: 94% (max.)
Nyug. tápáram: 18 mA
Méret: 43 x 20 x 13 mm

2x3 wattos sztereó hangerősítő modul
990 Ft

Ut = max. 5 V/4 ohm
PAM4803 IC-vel
Hatásfok: <80%
Méret: 20 x 20 x 4 mm
Súly: 2 g

A kitek összeállítását az elektronikai építésben jártasabbaknak ajánljuk, kezdőknek csak segítséggel.
A »HAM-bazár speciál« készülékeiről, készleteiről további információ a honlapunkon található!

Korlátozott készletek, egyes tételek kifogyóban! – Utazás előtt, kérjük, érdeklődjön!

* Az akcióba a lapelőfizetés nem számítható be. (Az már önmagában is kedvezményes tétel.)

HAM-bazár 1138 B.pest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H - P. 09 - 14 ó., Csüt. 09 - 17 ó.
239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bpest., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu 6k

Közvetlen digitális szintézis

Kőnig Imre villamosmérnök, im_re@freemail.hu

A közvetlen digitális szintézisnek nevezett eljárás során periodikus hullámformákat állítunk elő tárolt mintákból. Az eljárás lényegéhez tartozik, hogy az előállított jel frekvenciája lineárisan változtatható. Két egyszerű hullámformát vizsgálunk, az egyik a négyszögjel, a másik a szinusz. A négyszögjel tárgyalásának az az oka, hogy ott a frekvencia lineáris változtatásának módszere mellett annak fő problémája is könnyen érzékeltethető. A szinusz pedig a leggyakrabban szintetizált jelalak, és bármely periodikus jel szinuszos összetevőkre bontható, bár nem garantált, hogy azok száma véges.

Lineárisan változtatható frekvenciájú négyszögjel: az NCO

Bár az NCO nem tartozik szorosan a témához, kiválóan alkalmas a lineárisan változtatható frekvenciájú jelek előállításának szemléltetésére. Alapösszefüggése is lényegében azonos a DDS alapösszefüggésével.

Az NCO négyszögjeleket állít elő. A mikrovezérlők számláló/időzítő áramköreivel könnyen előállíthatunk (azok felbontása által korlátozottan) tetszőleges frekvenciájú és kitöltésű négyszögjeleket. Az az egyetlen probléma, hogy a frekvenciaváltoztatás lehetősége nem frekvenciában, hanem periódusidőben lineáris. A kettő egymás reciproka, így ami az egyikben mérve lineáris, a másikban mérve biztosan nem az. Más módszerre van tehát szükség, ezt valósítja meg az NCO.

Egy olyan összeadó áramkört alakítunk ki, aminek az összegregisztere egyben az egyik összeadandó is, vagyis a másik regiszter tartalmát mindig az aktuális összeghez adjuk hozzá. A másik regiszter értéke legyen például 1! Az összeadásokat egyenlő időközönként ismételjük, amíg az összegregiszter túlcsordul. Amikor ez megtörténik, kiadunk egy meghatározott időtartamú impulzust, vagy esetleg megfordítjuk egy kimenet logikai szintjét. A létrehozott frekvencia, mivel egyesével növeltük az összeget, az összeadás frekvenciája osztva az összegregiszter kapacitásával. *(Egy regiszter akkor csordul túl, amikor az összeg nagyobbá válik a regiszter kapacitásánál.* Túlcsordulásnál *a fizikailag már nem létező eggyel magasabb helyértékű számjegy [bit] elvész, de a maradék megőrződik.* Kapacitás: *a regiszter által ábrázolható elemek száma. Pl. egy bájton a 0-255 számok ábrázolhatók, vagyis egy 1 bájtos regiszter kapacitása 256, de az ilyen kapacitást általában bitben vagy bájtban kifejezve használjuk. A számelméletből, az oszthatóság fogalomköréből kölcsönzött kifejezéssel egy összeadó eredmény regiszterének kapacitását modulusnak is nevezzük.)* Könnyen belátható, hogy ha kettőt választunk második összeadandónak, akkor kétszeres, ha hármat, akkor háromszoros, és így tovább frekvenciát kapunk, vagyis a második összeadandó (a növekmény) értéke és a frekvencia közötti összefüggés lineáris. Azt a regisztert, amiben az egymás utáni összeadások eredményét tároljuk, fázisregiszternek, az összeadóval együtt fázisakkumulátornak, a növekményt tároló regisztert többnyire frekvenciaregiszternek nevezzük, mivel ez határozza meg a frekvenciát. Felhasználási módja alapján a növekményregiszter elnevezés is előfordul.

Hardveres megvalósításban a fázisakkumulátor kapacitása jellemzően kettő egész számú hatványa, így a kettes számrendszerben működő összeadó számára a túlcsordulás kezelése ütemvesztéssel nem jár, a maradék a fázisakkumulátorban automatikusan helyesen képződik. A kimenőimpulzust a fázisakkumulátor túlcsordulása generálja. Pontos egyezést nem írhatunk elő, mert ha a lépésköz nem osztója a fázisakkumulátor kapacitásának, akkor a túlcsordulás pillanatában nincs egyezés, de ez nem akadályozhatja meg a periódus végének észlelését. Ebből rögtön láthatjuk is a módszer gyengeségét: a maradékok halmozódnak, és így előbb-utóbb a túlcsordulás egy összeadással korábban következik be a megszokottnál, ha a maradék kisebb, mint a növekmény fele, illetve eggyel később, ha nagyobb annál. Ha egyenlő vele, akkor a két érték felváltva fordul elő.

Összefoglalva: az adott átlaghoz tartozó pillanatnyi frekvencia kétféle értéket vehet fel, de ezek olyan arányban fordulnak elő, hogy az átlagfrekvencia pontos legyen. Ha a pillanatnyi frekvencia ingadozását szűk határok között kell tartani, akkor a kimenet után olyan megoldást kell találni, ami képes kiátlagolni ezt az ingadozást.

Konkrét példaként vegyük szemügyre a PIC16F1xxx mikrovezérlők NCO-ját! A fázisakkumulátor 20, a frekvenciaregiszter 16 bites. A kettő közötti négy bit különbség azt jelenti, hogy a frekvenciaregiszter legnagyobb lehetséges értéke mellett legalább 16 lépés kell a túlcsorduláshoz, de néha 17, vagyis a legmagasabb elérhető frekvencia az NCO órafrekvenciájának kishíján egy tizenhatoda, illetve szimmetrikus esetben egy harminckettede. NCO-ban a 20 bites fázisakkumulátor mellett hosszabb frekvenciaregisztert nem érdemes használni, mert már így is ott tartunk, hogy a frekvenciaregiszter teljes hosszát kihasználva a pillanatnyi frekvencia eltérése a névlegestől jó közelítéssel 6,25% is lehet. A működést végiggondolva, az átlagfrekvenciára nézve írhatjuk, hogy:

$$f = nco\ órafrekvencia \cdot növekmény / fázisakkumulátor\text{-}kapacitás.$$

A fázisakkumulátor kapacitása ismert, 20 bit, vagyis 2^{20}. Az NCO órajeleként használható a HFINTOSC (16 MHz), a FOSC (a mikrovezérlő órafrekvenciája), valamelyik CLC kimenete (a

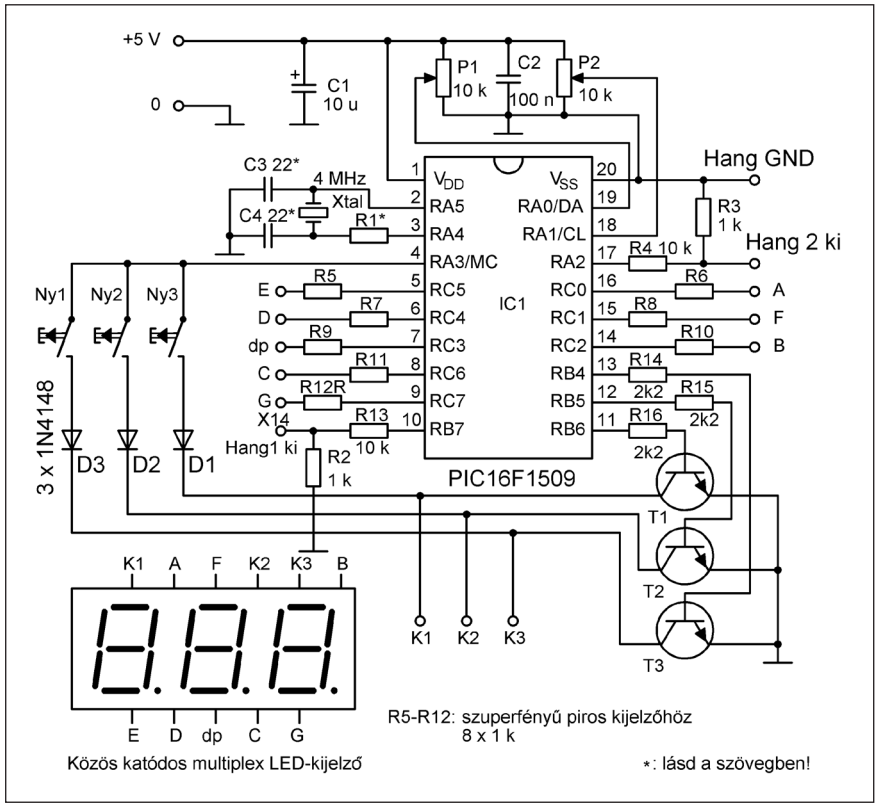
CLC-k bőséges bemenetválasztékot biztosítanak, és akár egyszerűen át is ereszthetik bemenőjelüket), vagy egy külső órajel, vagyis nagy szabadságunk van a megválasztásában.

A növekmény helyére 1-et helyettesítve kapjuk a frekvenciafelbontást. Megállapíthatjuk tehát, hogy a felbontás annál jobb, minél hosszabb a fázisakkumulátor és minél kisebb az NCO órafrekvenciája. Az első a hardver által meghatározott, a másodikat pedig nem csökkenthetjük korlátlanul, mert arányosan csökken a maximális kimenőfrekvencia is. A felbontással kapcsolatban még egy dolgot érdemes számításba venni: adott felbontás mellett az abszolút hiba egy meghatározott tartományba esik, de ez azzal jár, hogy kisebb frekvenciák felé haladva a relatív hiba tartománya nőni fog. Hogy ez miért lehet szempont? Gondoljunk pl. a temperált zenei skálára! Ott a szomszédos félhangok aránya állandó, és azt, ha nem elég finom a felbontás, a mély hangok felé haladva egyre nehezebb lesz tartani. Példaként említjük a „Nyisd ki babám” dallamcsengő PIC10F320 mikrovezérlős változatát [1]. Ott ezzel a 20 bites NCO-val két oktáv terjedelemre sikerült biztosítani, hogy az átlagfrekvencia pontossága és ingadozása is elfogadható értékű legyen, miközben a szomszédos félhangok aránya sem torzul jelentősen. A számítás menete is ott található. Ugyanezt az eszközt magasabb NCO órafrekvenciával sok egyéb mellett állandó frekvenciájú vagy akár modulált ultrahang előállítására [2], esetleg infra távvezérlőben vagy fénysorompóban a fénynek a vevőhöz igazodóan, jellemzően 30…40 kHz-es modulálására is használhatjuk.

Lassú négyszögjelek számára szoft NCO-t is programozhatunk. Ez azzal jár, hogy az NCO órajel-frekvenciája a két összeadás között elvégzett utasítások számaszor kisebb lesz az utasításfrekvenciánál. Ennek az utasításszámnak állandónak kell lennie. Vegyes *példánk* egy „sport” metronóm lesz, felváltva működő bal és jobb kimenettel. A 20-240/min tartományban működik, és kimenetenként külön potenciométerrel beállítható magasságú hangot generál. Bár mikrovezérlőnkben van hard NCO, azt leköti a hang előállítása, ezért a ritmus időzítését szoft NCO-val oldjuk meg, kétbájtos fázisakkumulátorral. Olyan megoldást keresünk, ahol a beállított ütemet a legegyszerűbben alakíthatjuk át növekménnyé, vagyis 60 = 60 ütem/perc. A képletbe helyettesítve ennek precíz kivitelezéséhez 1092,26666 Hz-es NCO-órajel kellene. Ezt 4 MHz-ről a timer2 osztásarányának (229 × 4 = 916) beállításával elég jól meg tudjuk közelíteni. (1091,703 Hz, kb. fél ezrelék eltérés, vagyis pl. a felső határnak választott 240-es ütemből 239,876 lesz, szóljon, aki segédeszköz nélkül észreveszi!) Valamit még javíthatunk is rajta, ha a kvarcot hagyjuk a névleges frekvenciája fölött rezegni. Ebben segít, hogy a legtöbb itt használatos kvarc gyári új állapotában az ajánlott kondenzátorokkal a névlegesnél kissé magasabb frekvencián rezeg. A timer2 használata már jelzi, hogy a szoft NCO megszakításban fut, vagyis a hang indításának 1 us bizonytalansága lesz. Nem kell törődnünk vele.

Az, hogy az NCO hangja programunkban véletlenszerű fázisban indul, ennél nagyobb, de segédeszköz nélkül még mindig észrevehetetlen hibát okoz. A hang az üteme negyede alatt szól, ezért a szoft NCO a kívánt frekvencia négyszeresét állítja elő. A kijelzőn beállított ütemszámot tehát a szoft NCO-ban való felhasználás előtt néggyel szorozzuk. Ezzel az egyszerű átalakítás feltétele teljesült. A megszakítás dolga a kétszer négy működési fázis (egyik hang, három szünet, másik hang, három szünet, szünetben A/D csatorna váltás és beolvasás) kezelése és a kijelző és a gombok multiplexelése is. A gombok kezelése a megszakítás által gyűjtött információ alapján a főprogram feladata. A három gomb funkciója: ütem le, ütem fel és alapbeállítás. Pergésmentesítésüket a szoftver végzi, általában sikerrel. A program eredeti alapbeállítása 80 ütem/perc, de a gombokkal megváltoztatható: ha öt másodpercig nem történik újabb gombnyomás, automatikus mentés következik, és a mentett érték lesz az új alapbeállítás, vagyis a metronóm abban a beállításban ébred, amit utoljára (legalább 5 másodpercig) használtunk. A potenciométerek középállásában a hangfrekvencia kb. 380 Hz, az elhangolási lehetőség kb. ±240 Hz. A középérték módosítása a forrásprogramban lehetséges, 1 egység kb. 1,9 Hz.

A program a Metronom alkönyvtárban található. Az egyszerű alapáramkör az **1. ábrán** látható. A PIC16F1509 mikrovezérlő a pontosság kedvéért 4 MHz-es kvarcról működik. A csillagozott alkatrészek



1. ábra

egyedi beállítást igényelnek, ld. pl. [3]. A 8 bites *C* port a közös katódos kijelző szegmenseié. Az áramkorlátozó ellenállások értéke szuper piros kijelzőhöz 1 kohm. A port kiosztása a 3 jegyű 7 szegmenses multiplex kijelzők tipikus lábelrendezéséhez igazodik. Ha csak négyjegyűt sikerül beszerezni, annak ezzel a bekötéssel a három első számjegye fog működni. A *B* port 3 alsó bitje multiplex kimenet. Egy-egy tranzisztor nyeli a katódok áramát. Ezek kollektoráról diódák vezetnek a gombokhoz. A gombok másik vége közös, és a belső felhúzó ellenállással ellátott *RA3* bemenetre csatlakozik. A *B* port felső bitje az egyik kimenet. Az *A* port három bitje közül *RA0* és az *RA1* potenciométerbemenet, az *RA2* a másik kimenet. A rajz csak jelképesen tartalmazza a kijelző modult, és nem tartalmazza a tápegységet és az erősítőt a hangszóróval. A megépített változat négy ceruzaelemről működik, a stabil tápfeszültségről egy fel-le konverter modul gondoskodik. A hangkimenetekre 10 kohmos sztereó potenciométer után egy 2 X 3 W-os D osztályú erősítőmodul csatlakozik, ami megszólalás után is hasonlít a HAM-bazárban kaphatóra.

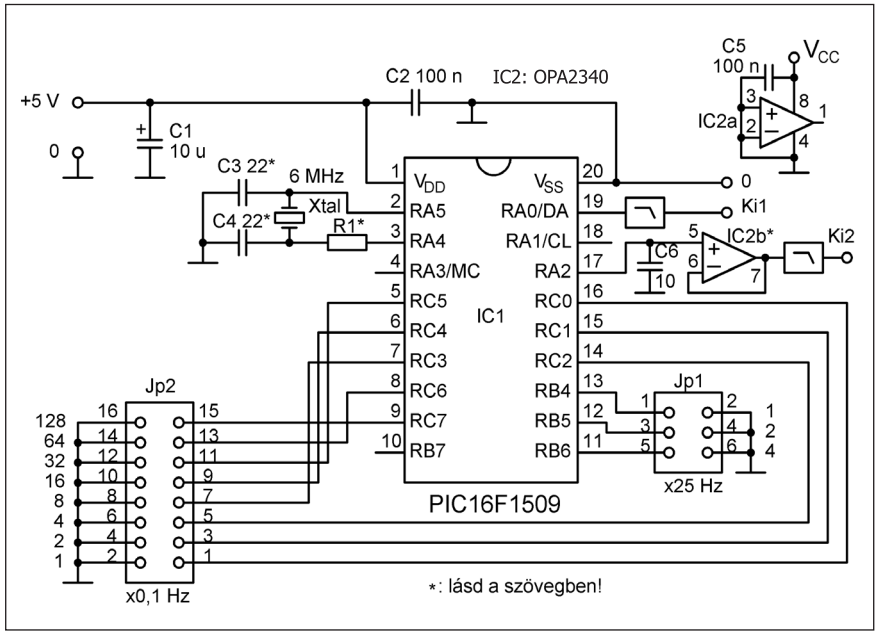
DDS, először céláramkör nélkül

Az NCO-nál csak a túlcsordulás fázisához rendeltünk értéket, illetve értékváltozást. A DDS-nél egy táblázat segítségével minden egyes fázishoz külön értéket rendelünk. Ha tehát van egy periodikus függvényünk, aminek egy periódusát a fázisakkumulátor kapacitásával egyenlő számú pontból álló táblázatba foglaltuk, és a táblázatból minden óraütemben kiolvassuk a fázisakkumulátor által megcímzett értéket, akkor a függvény azonos időközönként vett pillanatértékeit kapjuk. Ezeket D/A átalakítóra vezetve egy aluláteresztő szűrő után meg is kaptuk jelünket, melynek frekvenciáját itt is a növekmény (frekvencia) -regiszter határozza meg. Természetesen a mintavételezett jelekkel kapcsolatos összefüggések itt is határokat szabnak. Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban szinuszjelekkel foglalkozunk. Más periodikus jelek esetén a legmagasabb frekvenciájú szinuszos összetevő a kritikus.

Néhányszáz hertzig akár egy PIC16F mikrovezérlővel is elfogadható szinuszt gyárthatunk. Komolyabb szűrővel a kilohertzes tartományt is megcélozhatjuk. Három dolog korlátoz: a maximum 8 K szó kapacitású programmemória, aminek, ha ragaszkodunk a fázisakkumulátor kerek 2 hatványnál történő túlcsordulásához, akkor a felét tudjuk a táblázatra felhasználni, az *összeadás-táblázatból keresés-perifériára továbbítás-cikluszárás* (plusz amire ebben a hurokban még szükség van) szoftverfolyamat időigénye, ami meghatározza az NCO-órajel maximális frekvenciáját, és a D/A átalakítási lehetőség. 256 bájtnál nagyobb méretű táblázatnál tovább nehezíti a helyzetet a programmemória lapszervezése, bár ez a probléma a PIC16F1xxx típusokban megoldottnak tekinthető. A jelentős korlátok ellenére két példát is bemutatunk. Ezek a később ismertetendő céláramkörökhöz is bevezetésül szolgálnak. Példáink méréséhez az összehasonlíthatóság érdekében ugyanazt a kb. 500 Hz töréspontú RC aluláteresztőt használtuk. Ez a megoldás, különösen az első példánál, távol áll az optimálistól.

Az első példa egy speciális feladat, ahol bizonyos frekvenciák „tiszta” előállítása érdekében eltérünk a 2-hatvány alapszabálytól. Később majd kiderül, hogy hasonló helyzetben más is ezt teszi, csak kissé másképp. 25 Hz egész számú többszöröseit kell előállítani az 50 Hz-150 Hz tartományban. Szélesebb tartomány megengedett, de nem szükséges. Az elmélet szerint, ha a DDS órafrekvencia nem egész számú többszöröse a célfrekvenciának, parazita (hamisnak nevezett, de sajnos nagyon is valódi) spektrumösszetevők lépnek fel. Nagyságuk a frekvencia- és amplitúdófelbontás finomságától függ. Persze ott lenne a céláramkör a belépő szinten is akár 0,001 Hz frekvencia és 10 bit amplitúdófelbontásával, ahol ez a hatás már elviselhető, de amellé is kellene egy mikrovezérlő, és mi a legolcsóbb megoldást keressük. Így aztán fázisakkumulátorunk számára olyan modulust választunk, ami a 25 Hz itt előforduló szorzóinak mindegyikével osztható. A szorzók 2, 3, 4, 5, 6, ezek legkisebb közös többszöröse $3 \times 4 \times 5 = 60$ pont. A képlet ugyanaz, mint az NCO-nál, csak az NCO helyére DDS-t, és a kapacitás helyére modulust írunk. Így az órafrekvencia $60 \times 25 = 1500$ Hz lenne. Ezek számunkra túl kis értékek, mert a legnagyobb frekvencia és az órafrekvencia távolsága mindössze egy dekád, az órafrekvencia alsó oldalsávját is nézve még kevesebb, és nem szeretnénk bonyolult szűrőt alkalmazni. Nem növeljük a számításigényt, ha a pontok számát és az órafrekvenciát is négyszerezzük. Ekkor a fázisakkumulátor nullától 239-ig számlál, a táblázata elfér egy 256 bájtos egyben címezhető lapon, az órafrekvencia 6 kHz, és a mindössze 1 bájtos összeadást igénylő frissítés garantáltan elég rövid ciklusban történhet. Nem mellékesen a legmagasabb frekvencia és a DDS órafrekvencia közötti távolság 2 oktávval nő, ami enyhít a szűrővel szembeni követelményeken. A felbontás, miután a számláló és a nevező egyaránt néggyel szorzódik, 25 Hz marad. A fázisakkumulátor 240-es modulusa nem lesz kettő hatványa, de mivel összeadónk szoftveres, a 239-es érték túllépésének észlelésekor 16 hozzáadása megoldja a korrekt átvitelképzést. A 6 kHz-es DDS órajelhez 24 000-rel osztható PIC-órafrekvencia tartozik. Az áramkör tervezése idején a PIC16F sorozatban külső eszköz használata nélkül csak PWM-mel lehetett D/A átalakítást végezni. Mivel sok ebből az időszakból származó, amatőröknek szánt program szintetizált ezzel a módszerrel, és ebben a kategóriában máig ez az általános, mindkét példánkban ezt használjuk elsődlegesen. A szorzó a PWM átalakítás miatt a D/A felbontás szintszáma, ami a szabványos kvarcfrekvencia követelménye miatt 256 helyett csak 250, így a PIC-órafrekvencia 6 MHz-re adódik. PR2 értéke 249.

A gyári DDS áramkörök általános optimalizálási elvét követve, ehhez a pontszámhoz 6 bites amplitúdóértékek tartoznának. Ez viszont a modulus megválasztása miatt egy speciális eset, ezért kihasználjuk táblázatelemeink mind a 8 bitjét. Már csak elő kell állítani a 240 pontból álló szinusztáblát. Ez Excelben is elkészíthető, bár utána a fordítóprogram által elfogadott formátumra kell alakítani. A szerző erre a célra írt programmal generálja szinusztáblázatait. Ezeket felhasználás előtt már csak minimális mértékben kell szerkeszteni. A következő fokozatok esetleges túlvezérlésének elkerülése érdekében nem használjuk ki a teljes amplitúdótartományt, és az így felszabaduló tartomány terhére egy programozható ofszet lehetőséget biztosí-



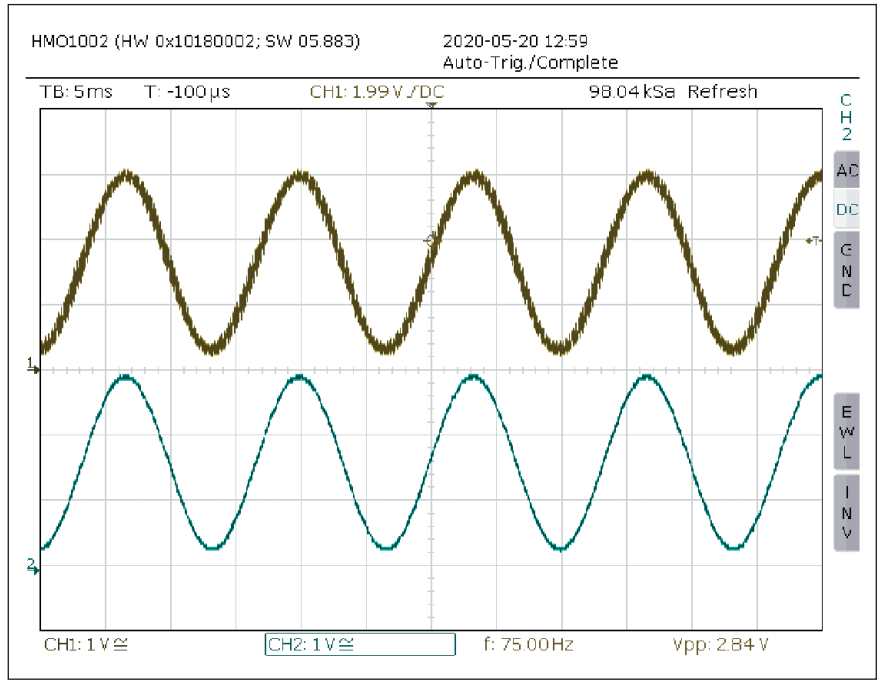
2. ábra

tunk. A példánkhoz tartozó alkönyvtár *s240a80.inc* fájlja 240 pontos idő- és 250 pontos amplitúdó-felbontású. Az utóbbiból 80%-ot használ ki. A szinusz középvonala 125-ön van. Az áramkör eredeti kivitelben egy nagyobb tesztrendszer részét képezte. A generátor 32 féle OOK (100% ASK) modulációs sémával rendelkezett. A beállítási információt I²C buszon keresztül kapta egy billentyűzettel és kijelzővel ellátott vezérlő processzortól. Egyszerűsített változatunkban binárisan kódolt portbitekkel választunk frekvenciát modulálatlan generátorunk számára. A mikrovezérlő az eredetitől eltérően a korszerűbb PIC16F1708, amiben 8 bites, egyszerű ellenállásosztós, kimenetválasztós DAC is található, így összehasonlítás céljából ilyen kimenetet is kialakítottunk. A **2. ábrán** látható kapcsolásban a kimenetekre csatlakozó áramkörök szimbolikusak, a konkrét megvalósítás a felhasználási környezettől függ. A mérési elrendezésben mindkét példánál az aluláteresztő szűrő mindössze egy 33 kohm-10 nF RC tag, az erősítő a táptól-tápig be- és kimenetű OPA2340 egyik fele. Ha a másik felének nem jut funkció, akkor az ábra jobb felső sarkában látható módon lehet bekötni. A kis kapacitású C6 a DAC tranzienseit szűri. A PWM kimenetre a táptól tápig amplitúdóval jelen levő, harmonikusokban igen gazdag vivő miatt célszerű először egy passzív szűrőtagot tenni, míg az ellenállásosztós, kimeneti multiplexeres típusú DAC folytatásaként a több mint egy nagyságrendet változó kimenőellenállás miatt kötelező a feszültségkövető erősítő. Fontos követelmény, hogy a DDS órafrekvencia legalább 10 harmonikusa beférjen az erősítő(k) átviteli sávjába. Ezt itt nem nehéz teljesíteni.

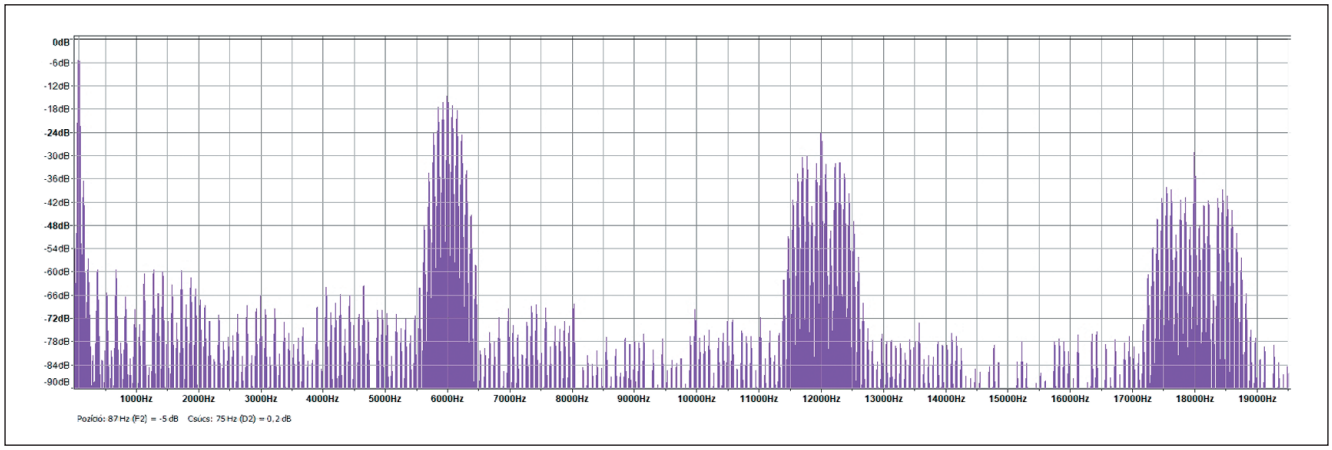
A PWM D/A átalakításnak az a látszólagos előnye, hogy nem érinti a megszakítás érvényre jutásának 1-2 utasításidőnyi bizonytalansága, a frissítés időpontja a mikrovezérlő PWM perifériájának kialakítása folytán hardver pontosságú. Hátránya, hogy a PWM vivő és sok-sok jelentős amplitúdójú harmonikusa elnyomására jóval erőteljesebb szűrésre van szükség. Hogy a PWM D/A átalakítás hogyan és mennyire rontja el mégis, amit tökéletesre terveztünk, az külön dolgozat témája lehetne. Itt csak annyit, hogy az ún. fázishelyes vagy szimmetrikus PWM, ahol az impulzus kezdete helyett a közepének kötött az időpontja, javíthatna a helyzeten, de ez kevés típusban áll rendelkezésre.

Mielőtt a frekvenciaelemzésre térnénk, egyértelműsíteni kell a harmonikusok számozását. A szerző a zenéből indul ki, és abból a tényből, hogy egy hang egy másik azonos frekvenciájú hanggal van a legtökéletesebb harmóniában, vagyis egy frekvencia első harmonikusa önmaga. Ebből következően a harmonikus szerző által használt sorszáma az (omega té) szorzója, vagyis a második harmonikus a kétszeres, a harmadik a háromszoros, és így tovább... frekvencia. Így a páros harmonikusok a jel aszimmetriájával, a páratlanok fázishelyzettől függően a jel (szimmetrikus) csúcsosságával ill. laposságával hozhatók közvetlen összefüggésbe.

A **3. ábrán** a kimenőjel látható „75 Hz” állásban, a 2. ábra *Ki1* és a *Ki2* kimenetén. Az időtartományban szemlélve a PWM eredmény ijesz-



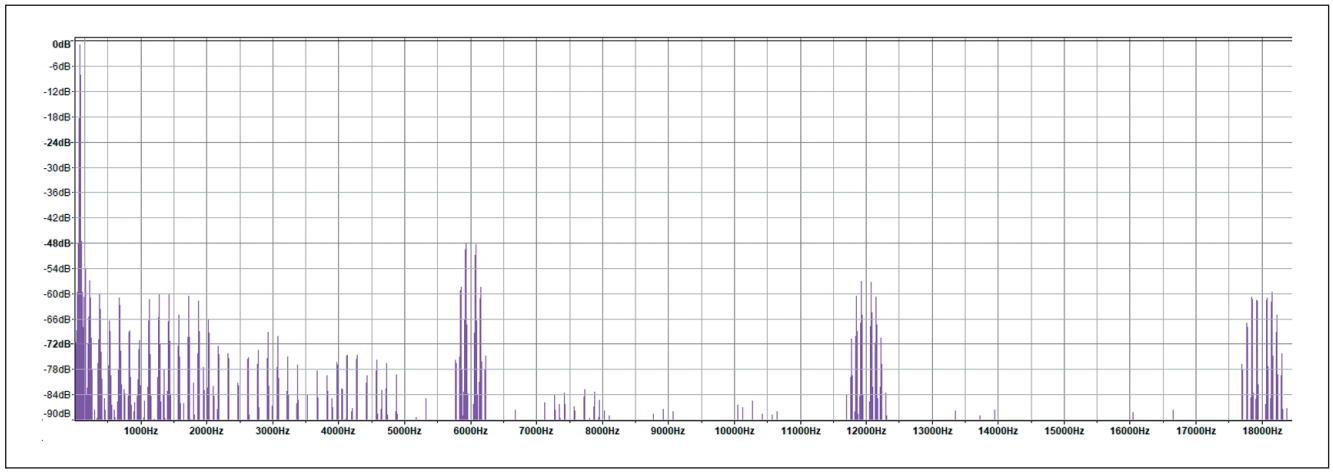
3. ábra



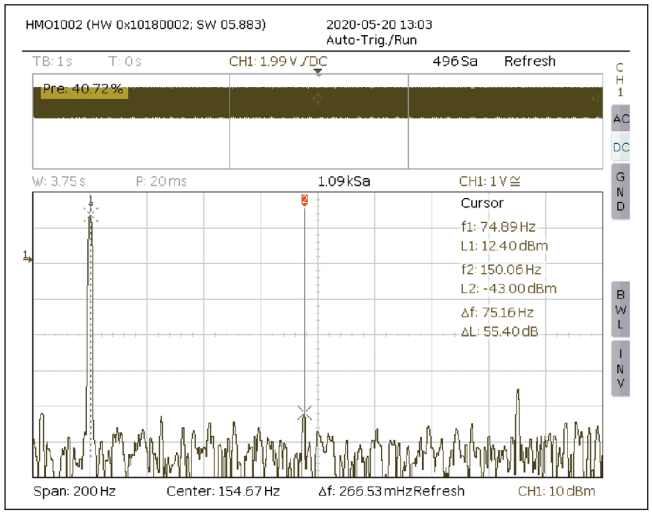
4. ábra

tőnek látszik. Ha a jel spektrumát vizsgáljuk (**4. ábra**), nem akkora a baj. Ez az ábra néhány másikkal ellentétben az Audacity programmal készült, hogy a PWM órajel néhány harmonikusa is beleférjen. A hasznos jel közeli harmonikusai közül csak a második értéke kiugró, azzal az adott paraméterek mellett nem is tudunk olcsón megküzdeni, viszont az órajelre és harmonikusaira már nem nehéz megfelelő csillapítású szűrőt tervezni. Az itt használt mikrovezérlővel ebben a tekintetben van még egy lehetőségünk, ami az eredetivel ilyen mértékben nem volt: négyszerezhetjük az oszcillátorfrekvenciát és ezzel a PWM frekvenciát, miközben a timer2 utóosztóját 4-re állítva a DDS órafrekvenciát megtartjuk. A második harmonikus amplitúdója csökken, a 6 kHz most már csak a DDS órajele, maga a frekvencia el is tűnt a spektrumból, csak az oldalsávjai vannak jelen (**5. ábra**). Hogy mitől tűnt el, arról egy másik probléma kapcsán később lesz szó. Ugyanez tapasztalható a DDS frekvencia harmonikusai körül. A négyszeres PWM frekvencia nagy előny a szűrésnél. Így, ha együtt tudunk élni néhány százalék – zömében második harmonikus – torzítással, ez a kimenet is megfelel. A **6. és 7. ábra** a *Ki2* kimeneten mért spektrumot mutatja. A PWM-mel ellentétben a 3. harmonikus -48 dB-es szintje határozza meg a torzítást. A továbbiakban −60 dB fölötti amplitúdóval nemigen találunk harmonikust. A 6 kHz környéke nincs az ábrán, de még egy szűrőfokozattal ott is elérhető a kívánt csillapítás. Talán csak a magas zajszintet kritizálhatjuk.

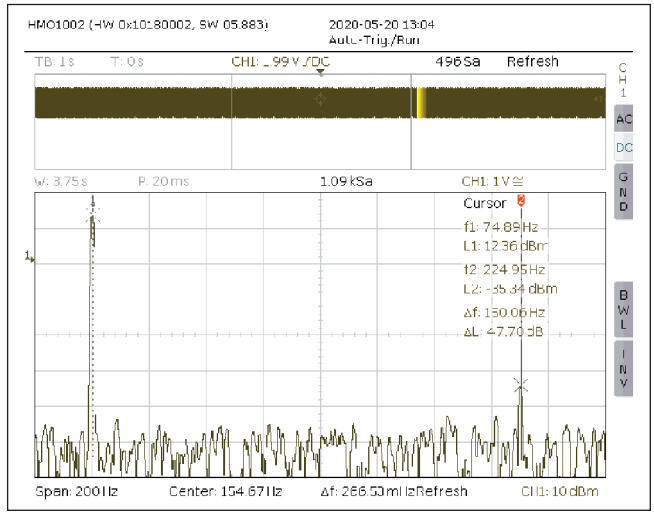
Amikor a program már majdnem elkészült, új igény jelentkezett: a megadott frekvenciák környezetében, tájékoztató mérések céljára, tized hertzes felbontással néhány hertz elhangolási lehetőséget is biztosítani kell. A tisztaságból tehetünk némi engedményt. Az új követelmény lehetőséget nyújt a fix táblázatméret és órafrekvencia melletti felbontásnövelő módszer szemléltetésére. Ennek az a lényege, hogy a fázisakkumulátort és a frekvenciaregisztert lefelé egy bájttal kiterjesztjük, aminek következtében a lépésköz a korábbi 256-od részére csökken, de a táblázat címzésére továbbra is csak a felső n bitet (esetünkben a felső bájtot) használjuk, így a táblázat mérete a felbontás finomodása ellenére nem nő, az elérhető torzítás nem csökken. A céláramkörök is ezt teszik, csak a címzésre használt bitek száma nagyobb, a torzítás kisebb. Szoftveres megoldásunkban ezen az alsó bájton 250-es modulust alkalmazunk, vagyis a lépésközt csak a 250-ed részére csökkentjük, és így a frekvencia regiszter alsó bájtján a tized Hz-eket állíthatjuk be nullától 249-ig. A felső bájt továbbra is 25 Hz egységben értendő. A honlapon található zip fájl *25_Hz* nevű alkönyvtárában levő demo program a *B* port három alsó bitjén olvassa be az egész 25 Hz-eket, a *C* porton a 250-ed 25 Hz-eket, vagyis a tized Hz-eket 249-ig, a 249-nél nagyobb értékeket nullának veszi. A 2. ábrán ezt a kiosztást már feltüntettük. Eszközünk



5. ábra



6. ábra



7. ábra

a bővítés után a kvarc által meghatározott pontosságú 0,1 Hz-es lépésekkel állítja elő a 0-199,9 Hz-es tartományt, de továbbra is csak a hat kiválasztott frekvencián lesz (a D/A átalakító által megengedett mértékben) tiszta a jel, hiába osztható 25-tel a 175 is.

A második példa bizonyára közelebb áll az amatőrök szívéhez, bár mára már lerágott csontnak tekinthető: CTCSS-frekvenciákat állítunk elő hasonló módszerrel, de most az automatikus maradékképzés kényelme és a gyári áramkörökhöz való némi hasonlóság érdekében a fázisakkumulátor kapacitása egész számú bájt lesz. Példánk azt is szemlélteti, hogy ilyen esetben, ha az órafrekvencia decimálisan kerek érték, a felbontás nem lesz decimálisan kerek, vagyis csak közelítő értékeket tudunk előállítani. Bár a 200 Hz alatti CTCSS-frekvenciák az előző példa áramkörével m*25+n*0,1 alakban megadva 0,0 Hz eltéréssel előállíthatók, az áramkör jellemzői, főleg az alacsony DDS frekvencia, a bizonyos értékeknél megnövekvő torzítás és a frekvencia kényelmetlen megadási formátuma miatt az ilyen jellegű használatot a szerző nem javasolja.

Az ötven frekvenciaérték mindegyike 0,1 Hz egész számú többszöröse a 67,0-254,1 Hz tartományban. A szerző egy olyan, nem kötelező szabványt talált a neten, ami ±0,5% pontosságot írt elő. Ez kissé meglepő volt, mert a legkisebb előforduló érték (67,0 Hz) 0,5%-a is 0,335 Hz, vagyis a minden frekvenciaértékhez tökéletesen illeszkedő 0,1 Hz felbontásnak több, mint háromszorosa. Ehhez a pontossághoz elvben elegendő lenne egy 0,67 Hz-es frekvenciaraszter alkalmazása. Ilyen raszter mellett a 67 Hz-hez tartozó növekmény pontosan 100, a 254,1 Hz-hez tartozó növekmény kerekítve 379 lenne. Kétbájtos fázisakkumulátort választva a DDS órafrekvenciája 43 909 Hz. Mint tudjuk, ha felfelé kerekítjük, romlik a felbontás, kicsúszunk a tűrésmezőből. Felfelé lenne még egy kis problémánk: a PIC16F1xxx sorozat legmagasabb órafrekvenciája 32 MHz. Ha a timer2 segítségével akarjuk előállítani a DDS órajelét, miközben minimum 250 szint felbontású PWM kimenetet is akarunk ugyanettől az időzítőtől (és a két pótbitet nem használjuk), akkor a maximális DDS órafrekvencia 32 kHz-re adódik. Ez itt nem hátrány, mert így kb. 0,44 Hz-re finomodik a frekvenciaraszter, a növekményeket meg így is, úgy is ki kell számítani. Két megszakítás között a választott PWM felbontás miatt ugyanúgy 250 utasításidő telik el, mint az előző példában. Ez, mint ott is, bőségesen elegendő.

Az **1. táblázatban** összeállítottuk a kiiratható neveket, a frekvenciákat, a számított és a kerekített növekményeket, valamint az elkerülhetetlen kerekítésből származó abszolút és relatív hibákat. A legnagyobb hiba sem éri el a 0,25%-ot, vagyis a tűrés felét. Csak az a kellemetlen, hogy a legnagyobb pozitív ill. negatív irányú eltérés éppen a két dunántúli átjátszókörzet CTCSS frekvenciáját érinti. Az ezzel a programmal működő áramkör néhány mért frekvenciája: 67 Hz helyett 66,9 Hz, 254,1 Hz helyett 253,9 Hz, 110,9 Hz helyett 110,85 Hz. Ezek jól egyeznek az 1. táblázat adataival.

Ahogy Murphy megjósolta, amikor már minden működött, egy más által készített CTCSS-kóder ismertetőjében felbukkant egy utalás arra, hogy az EIA szabvány 0,08%-ot ír elő. Bár ez meg gyanúsan szigorú, és nem sikerült bizonyítékot találni rá, elérése az előző példa második része alapján csak némi pluszmunkába kerül. Ha nem akarjuk csökkenteni a DDS órafrekvenciáját, márpedig nem akarjuk, mert a legegyszerűbb aluláteresztőre törekszünk, akkor lefelé meg kell nyújtanunk a fázisakkumulátort és a frekvenciaregiszert. Minden egyes bit kétszeres arányban finomítja a felbontást és ezáltal felezi a hibát. Ilyen alapon 2 bit bővítés már elegendő is lenne, de ha egyszer bájtjaink vannak, miért is hagynánk kihasználatlanul a maradék 6 bitet? Így született, továbbra is 32 kHz-es DDS órajelhez, a **2. táblázat**. (Felbontás: 0,0019 Hz.) Mint látható, a pontosság annyival jobb az újonnan előírtnál, hogy némelyik frekvencián már a kvarc pontossága is szerephez jut. A szoftver számára az eggyel több bájt nem gond. A honlapon ez a szuperprecíz változat található. Az ellenőrző mérés ezúttal 100 Hz-en történt, az eredmény az oszcilloszkóp szerint 100.00 Hz (**8. ábra**).

Az áramkör négyjegyű multiplex kijelzőt kapott, amin választhatóan sorszám ill. frekvencia jelenik meg. A sorszám formátuma „P xy” PMR-frekvenciáknál és „H xy” a „rejtett” (Hidden) frekvenciáknál. Az átjátszófrekvenciák nincsenek külön jelölve. Sajnos, a sorszámozás tekintetében ahány ház, annyi szokás, így a frekvenciák megjelenítése hasznosabbnak tűnik.

Név	Frekvencia Hz	Növekmény (számított)	Növekmény (kerekítve)	Abszolút hiba Hz	Relatív hiba, %	Átj. körzet	Tényleges fr., Hz
P 1	67,0	137,216	137	-0,10546875	-0,1574160448		66,89453125
H 1	69,3	141,9264	142	0,0359375	0,0518578644		69,3359375
P 2	71,9	147,2512	147	-0,12265625	-0,1705928373		71,77734375
P 3	74,4	152,3712	152	-0,18125	-0,2436155914	D-Dunántúl	74,21875
P 4	77,0	157,696	158	0,1484375	0,192775974		77,1484375
P 5	79,7	163,2256	163	-0,11015625	-0,1382136136		79,58984375
P 6	82,5	168,96	169	0,01953125	0,0236742424		82,51953125
P 7	85,4	174,8992	175	0,04921875	0,0576331967		85,44921875
P 8	88,5	181,248	181	-0,12109375	-0,136829096		88,37890625
P 9	91,5	187,392	187	-0,19140625	-0,2091871585		91,30859375
P 10	94,8	194,1504	194	-0,0734375	-0,0774657173		94,7265625
P 11	97,4	199,4752	199	-0,23203125	-0,2382251027		97,16796875
P 12	100,0	204,8	205	0,09765625	0,09765625		100,09765625
P 13	103,5	211,968	212	0,015625	0,0150966184		103,515625
P 14	107,2	219,5456	220	0,221875	0,2069729478	É-Dunántúl	107,421875
P 15	110,9	227,1232	227	-0,06015625	-0,054243688		110,83984375
P 16	114,8	235,1104	235	-0,05390625	-0,0469566638	ÉK-Mo.	114,74609375
P 17	118,8	243,3024	243	-0,14765625	-0,1242897727		118,65234375
P 18	123,0	251,904	252	0,046875	0,0381097561		123,046875
P 19	127,3	260,7104	261	0,14140625	0,1110811076		127,44140625
P 20	131,8	269,9264	270	0,0359375	0,027266692	DK-Mo.	131,8359375
P 21	136,5	279,552	280	0,21875	0,1602564103		136,71875
P 22	141,3	289,3824	289	-0,18671875	-0,132143489		141,11328125
P 23	146,2	299,4176	299	-0,20390625	-0,1394707592		145,99609375
P 24	151,4	310,0672	310	-0,0328125	-0,0216727213		151,3671875
P 25	156,7	320,9216	321	0,03828125	0,0244296426		156,73828125
H 2	159,8	327,2704	327	-0,13203125	-0,0826228098		159,66796875
P 26	162,2	332,1856	332	-0,090625	-0,0558723798		162,109375
H 3	165,5	338,944	339	0,02734375	0,0165219033		165,52734375
P 27	167,9	343,8592	344	0,06875	0,0409469923		167,96875
H 4	171,3	350,8224	351	0,08671875	0,0506239054		171,38671875
P 8	173,8	355,9424	356	0,028125	0,0161823936		173,828125
H 5	177,3	363,1104	363	-0,05390625	-0,0304039763		177,24609375
P 29	179,9	368,4352	368	-0,2125	-0,1181211784		179,6875
H 6	183,5	375,808	376	0,09375	0,0510899183		183,59375
P 30	186,2	381,3376	381	-0,16484375	-0,088530478		186,03515625
H 7	189,9	388,9152	389	0,04140625	0,0218042391		189,94140625
P 31	192,8	394,8544	395	0,07109375	0,0368743517		192,87109375
H 8	196,6	402,6368	403	0,17734375	0,0902053662		196,77734375
H 9	199,5	408,576	409	0,20703125	0,1037750627		199,70703125
P 32	203,5	416,768	417	0,11328125	0,0556664619		203,61328125
H 10	206,5	422,912	423	0,04296875	0,0208081114		206,54296875
P 33	210,7	431,5136	432	0,2375	0,1127195064		210,9375
P 34	218,1	446,6688	447	0,16171875	0,0741488996		218,26171875
P 35	225,7	462,2336	462	-0,1140625	-0,0505372175		225,5859375
H 11	229,1	469,1968	469	-0,09609375	-0,0419440201		229,00390625
P 36	233,6	478,4128	478	-0,2015625	-0,0862853168		233,3984375
P 48	241,8	495,2064	495	-0,10078125	-0,0416795906		241,69921875
P 49	250,3	512,6144	513	0,18828125	0,0752222333		250,48828125
H 12	254,1	520,3968	520	-0,19375	-0,0762495081		253,90625

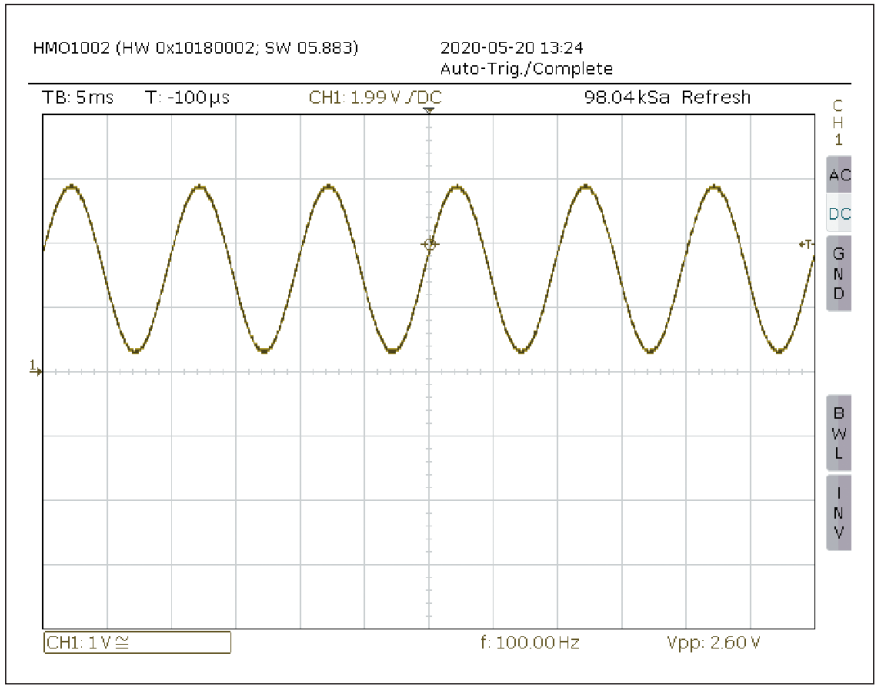
Felbontás: 0,48828125 Hz

1. táblázat

Név	Frekvencia Hz	Növekmény (számított)	Növekmény (kerekítve)	Abszolút hiba Hz	Relatív hiba, %	Átj. körzet	Tényleges fr. Hz
P 1	67,0	35127,296	35127	-0,000564575	-0,00084265		66,99943542
H 1	69,3	36333,1584	36333	-0,000302124	-0,000435965		69,29969788
P 2	71,9	37696,3072	37696	-0,000585938	-0,000814934		71,89941406
P 3	74,4	39007,0272	39007	-5,18799E-05	-6,9731E-05	D-Dunántúl	74,39994812
P 4	77,0	40370,176	40370	-0,000335693	-0,000435965		76,99966431
P 5	79,7	41785,7536	41786	0,000469971	0,000589675		79,70046997
P 6	82,5	43253,76	43254	0,000457764	0,000554865		82,50045776
P 7	85,4	44774,1952	44774	-0,000372314	-0,000435965		85,39962769
P 8	88,5	46399,488	46399	-0,000930786	-0,001051736		88,49906921
P 9	91,5	47972,352	47972	-0,000671387	-0,000733756		91,49932861
P 10	94,8	49702,5024	49703	0,000949097	0,001001157		94,8009491
P 11	97,4	51065,6512	51066	0,000665283	0,000683042		97,40066528
P 12	100,0	52428,8	52429	0,00038147	0,00038147		100,0003815
P 13	103,5	54263,808	54264	0,000366211	0,000353827		103,5003662
P 14	107,2	56203,6736	56204	0,000622559	0,000580745	É-Dunántúl	107,2006226
P 15	110,9	58143,5392	58144	0,000878906	0,000792521		110,9008789
P 16	114,8	60188,2624	60188	-0,000500488	-0,000435965	ÉK-Mo.	114,7994995
P 17	118,8	62285,4144	62285	-0,000790405	-0,000665324		118,7992096
P 18	123,0	64487,424	64487	-0,000808716	-0,000657493		122,9991913
P 19	127,3	66741,8624	66742	0,000262451	0,000206167		127,3002625
P 20	131,8	69101,1584	69101	-0,000302124	-0,000229229	DK-Mo.	131,7996979
P 21	136,5	71565,312	71565	-0,000595093	-0,000435965		136,4994049
P 22	141,3	74081,8944	74082	0,000201416	0,000142545		141,3002014
P 23	146,2	76650,9056	76651	0,000180054	0,000123156		146,2001801
P 24	151,4	79377,2032	79377	-0,000387573	-0,000255993		151,3996124
P 25	156,7	82155,9296	82156	0,000134277	8,56907E-05		156,7001343
H 2	159,8	83781,2224	83781	-0,000424194	-0,000265453		159,7995758
P 26	162,2	85039,5136	85040	0,000927734	0,000571969		162,2009277
H 3	165,5	86769,664	86770	0,000640869	0,000387232		165,5006409
P 27	167,9	88027,9552	88028	8,54492E-05	5,08929E-05		167,9000854
H 4	171,3	89810,5344	89811	0,000888062	0,000518425		171,3008881
P 28	173,8	91121,2544	91121	-0,000485229	-0,000279188		173,7995148
H 5	177,3	92956,2624	92956	-0,000500488	-0,000282283		177,2994995
P 29	179,9	94319,4112	94319	-0,000784302	-0,000435965		179,8992157
H 6	183,5	96206,848	96207	0,000289917	0,000157993		183,5002899
P 30	186,2	97622,4256	97622	-0,000811768	-0,000435965		186,1991882
H 7	189,9	99562,2912	99562	-0,00055542	-0,00029248		189,8994446
P 31	192,8	101082,7264	101083	0,000521851	0,000270669		192,8005219
H 8	196,6	103075,0208	103075	-3,96729E-05	-2,01795E-05		196,5999603
H 9	199,5	104595,456	104595	-0,000869751	-0,000435965		199,4991302
P 32	203,5	106692,608	106693	0,000747681	0,000367411		203,5007477
H 10	206,5	108265,472	108265	-0,000900269	-0,000435965		206,4990997
P 33	210,7	110467,4816	110467	-0,000918579	-0,000435965		210,6990814
P 34	218,1	114347,2128	114347	-0,000405884	-0,0001861		218,0995941
P 35	225,7	118331,8016	118332	0,000378418	0,000167664		225,7003784
H 11	229,1	120114,3808	120114	-0,000726318	-0,000317031		229,0992737
P 36	233,6	122473,6768	122474	0,000616455	0,000263893		233,6006165
P 48	241,8	126772,8384	126773	0,000308228	0,000127472		241,8003082
P 49	250,3	131229,2864	131229	-0,000546265	-0,000218244		250,2994537
H 12	254,1	133221,5808	133222	0,000799561	0,000314664		254,1007996

Felbontás: 0,001907349 Hz

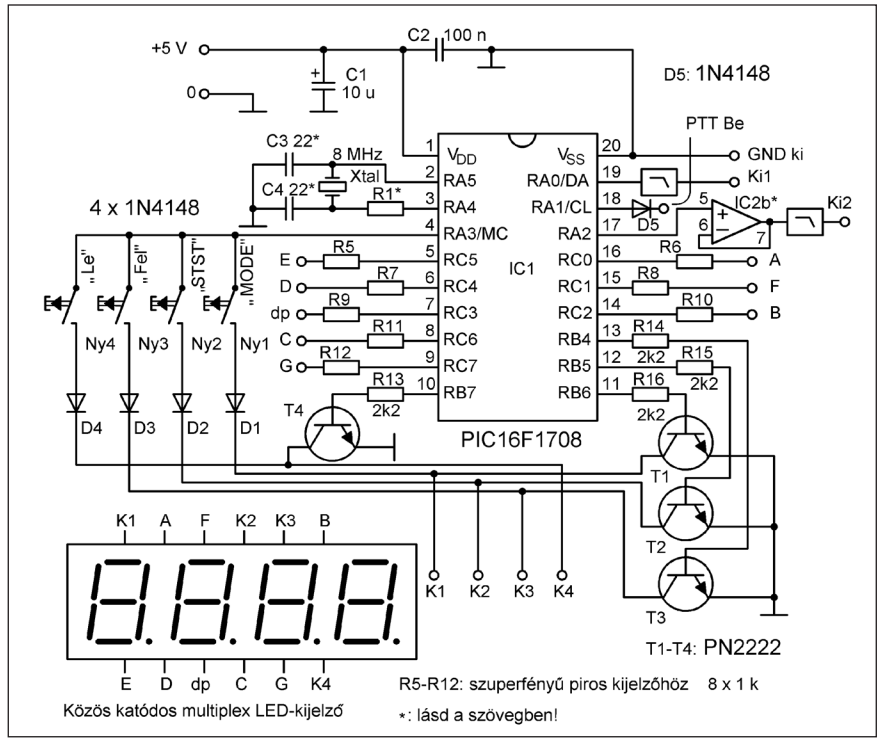
2. táblázat



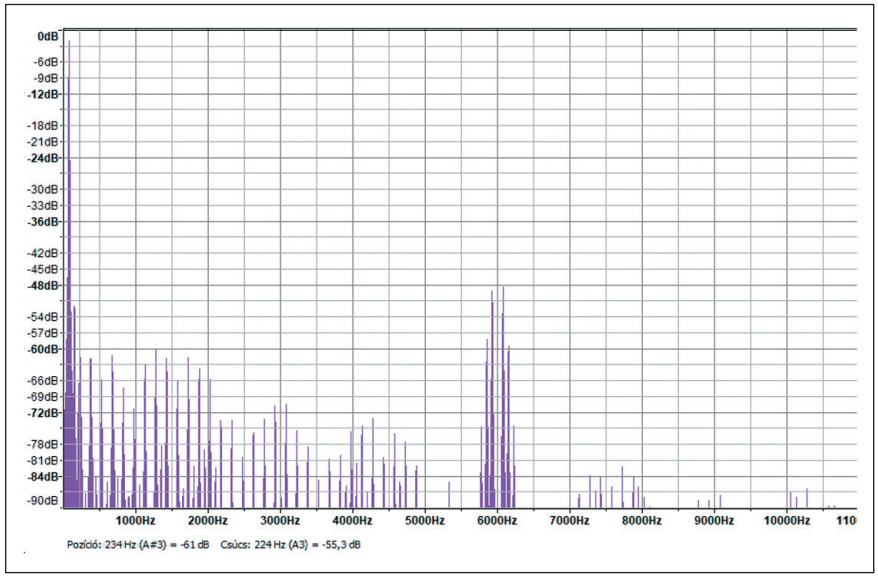
8. ábra

Ezek formátuma a specifikált érték, ami egy tizedesjegyet tartalmaz. Az esetleges kezdő nulla mindegyik számnál kioltott. Példánkban a mikrovezérlő PIC16F1708 típusú. 20 lábából kettő kell a kvarcnak, kettő a tápfeszültségnek, 12 a kijelzőnek, egy a multiplex bemenetnek, egy a kimenetnek. Egyet fenntartunk a PTT érzékelésére, ez 19, marad egy, ami most második kimenet lesz. A kijelzővel kapcsolatos lábkiosztás olyan, hogy a lehetőségeken belül (számjegyek *B* port, szegmensek *C* port) a legjobban illeszkedjen a 4 jegyű közös katódos kijelzők szokásos lábkiosztásához A kvarc helye kötött (*OSC1*, *OSC2*), a multiplex bemenet az *RA3/MCLR*. A kimenet az *RA0*, közvetlenül a *GND* mellett. A szegmensek helye a 8 bites *C*, a számjegyeké a 4 bites *B* port. A PTT bemenet az *RA1*. A demo változatban az *RA2* a 8 bites DAC kimenete. A gyakorlatban az egyik kimenet is elegendő, vagyis nyerhetünk még egy vezérlő bemenetet. A **9. ábrán** látható kapcsolás négy nyomógombja közül egy aktiválja, illetve leállítja a kimenetet, kettő fel-le léptet, egy a kijelzés módját váltja. Multiplex letapogatásuk a számjegy kimenetek felhasználásával történik. A multiplex frekvencia 250 Hz, egy számjegyre körönként 1 ms jut. Ezt a timer2 megszakításban további frekvenciaosztással állítjuk elő. Ugyanott a minden multiplex körben beolvasott gombok feldolgozása még lassúbb. Ez a lassítás 20 ms-os szoft pergésmentesítést eredményez. A magas órafrekvencia miatt a multiplex ütemekben a gombolvasás megelőzi a multiplexelést. Így a gombolvasással nem kell várni a multiplex kimenetek stabilizálódására. Ez viszont azzal jár, hogy az utolsó gomb beolvasása az első ütemben történik.

Amikor új frekvenciát választunk, a csökkentő vagy a növelő gomb megnyomásakor az aktuális jel a PTT állapotától függetlenül megszakad (bár az ilyenkor feltehetően amúgy sem aktív), a program egy nem látható sorszámot (táblaindexet) léptet, majd három táblázatból keres adatokat. Az első kettőből a kétféle jelzésképhez, a harmadikból a frekvenciaregiszter két, illetve (a szuperprecíz változatban) három bájtja számára. Az Excel tábla alapján készült 3+1 táblázat a CTCSS alkönyvtár *tbl1.inc*, *tbl2.inc* és *tbl3old.inc*, ill. *tbl3.inc* fájljában található. Az első kettő értékei a program futása során egy olyan, 16 bájt hosszú, karaktergenerátort címeznek, aminek 0 - 9. címén a 0 - 9 számjegy, 11-es címén a „P”, 14-es címén a „H”, 15-ös címén az üres hely szegmensképe található. A karaktergenerátor fennmaradó három címét (10, 12, 13) ez a program nem használja. A három táblázat csak egymással összhangban módosítható. A rajzon STST-vel jelölt gomb megnyomásakor, feltéve, hogy a PTT szintje magas, a beállított érték indexe a flash memóriába mentődik. Ennek időigénye kb. 5 ms. A szintézist ezután a PTT megnyomása indítja. A készülék ki- és bekapcsolása után az elmentett érték visszaáll, és a szintézis indítása a PTT-re vár. A PTT bemenet felfutó



9. ábra



10. ábra

éle nem állítja le a kimenőjel előállítását, csupán egy 180 fokos fázisugrást idéz elő. A leállítás nincs az adó leállásához szinkronizálva: további kb. 3 jelperiódus után automatikusan megtörténik. Ahhoz, hogy ez a funkció jól működjön, a PTT felfutó élének pergésmentesnek kell lennie. Ezen a bemeneten nincs szoft pergésmentesítés. A szinusztáblázat címzésére a fázisakkumulátor felső bájtját használjuk, ennek megfelelően szinusztáblázatunk 256 elemű. A nullától tápig terjedő feszültségnek 250 egység felel meg (ez a PWM felbontás), a táblázat az első példánál említett okból ennek a lehetséges csúcstól-csúcsig amplitúdónak a 80%-át használja.

A szuperprecíz frekvenciafelbontás már megérdemel egy, a 8 bites amplitúdó-felbontáshoz optimalizált elemszámú, 10 bittel címezhető táblázatot. Ez, mivel a fázisakkumulátor hossza változatlan, csak éppen a táblacímzéshez használjuk 8 helyett 10 bitjét, nem nyújt finomabb frekvenciafelbontást – a hárombájtos fázisakkumulátor mellett erre nincs is szükség –, viszont precízebb jelalakot, és ezáltal kisebb torzítást eredményez. Az 1 Kszó helyet foglaló táblázat címzése kissé bonyolultabb, de erre is jut idő a megszakításban. A CTCSS alkönyvtár a több fájlból álló teljes forrásprogram mellett a hex fájl mindkét változatát is tartalmazza. (A program könnyen adaptálható nx16 karakteres LCD-re. Ebben az esetben a megtakarítás 6 láb kivezetés és egy kellemetlen zavarforrás 250 Hz-en és többszörösein. Ha további zajcsökkentés céljából a multiplex gombkezeléstől is meg akarunk szabadulni, akkor csak három, viszont megfelelő kiosztás mellett így is használni tudjuk a belső műveleti erősítők egyikét.) A mérési összeállításba mindkét kimeneten egy 33 kohm/10 nF-os egyszerű RC aluláteresztő került, a D/A kimenet esetében egy OPA2340-es kettős műveleti erősítő felével készült elválasztó fokozat után. A viszonylag nagy R érték miatt az aluláteresztő után egy feszültségkövető erősítő beiktatása indokolt lehet. Ez a szűrő a 32 kHz-es DDS frekvenciára kb. 36 dB csillapítást biztosít. Ez a PWM kimeneten kevés, a DAC kimeneten, figyelembe véve a jelút további részének aluláteresztő jellegét, normális esetben megfelel. A legmagasabb frekvenciájú CTCSS jel amplitúdója kb. 1 dB-lel kisebb a legalacsonyabbénál, ez korrekciót általában nem igényel.

A 9. ábra diódás megoldása csak egy lehetséges példa volt a PTT bemenet illesztésére. A gyakorlatban más megoldások is alkalmazhatók. Kis áramkörünk tápfeszültsége 5 V, átlagos áramfelvétele kb. öt szegmens áramának összegével egyenlő. Ezt már 12 V-ról is csak extrafényes kijelző használata esetén célszerű 78L05-tel előállítani, viszont TO220 tokos nagyobb testvérének ezen a bemenő tápfeszültségen nagyobb áramú kijelzők mellett sincs szüksége hűtőbordára.

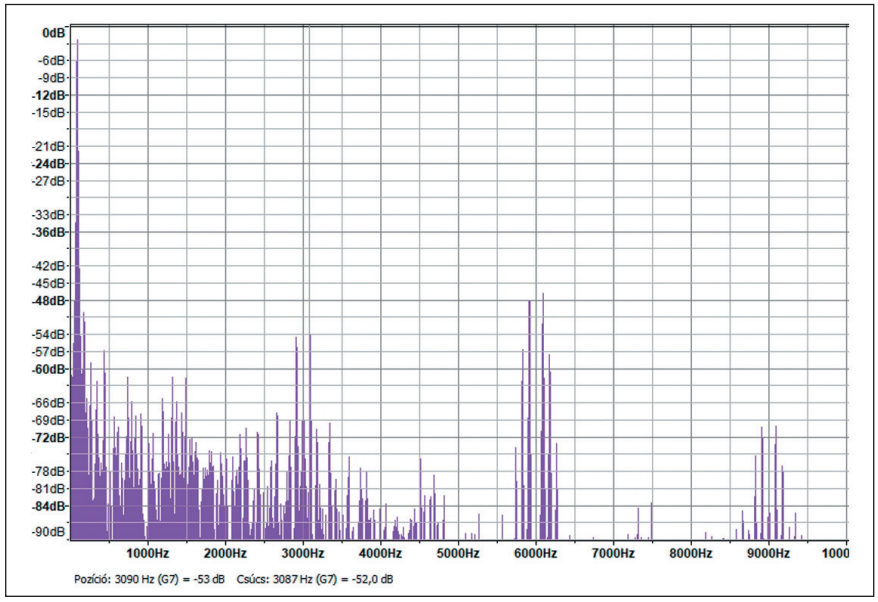
A szerző kísérletet tett más jelalakokkal is. [4]

Ez a zaj nem az a zaj

Láttunk néhány spektrumot. Közülük a 6. és 7. ábrát nem terhelte a PWM átalakító hibája, viszont magas zajszintet mutattak. Ez azonban nagyrészt nem az analóg világban megszokott zaj, hanem diszkrét frekvenciák elegye, melyek a DDS folyamatának különféle hibáihoz köthetők.

A *kvantálási hiba*, ami a mintavétel pillanatában a pontos értéktől az Y felbontás miatti eltérésből származik, periodikus, és az órafrekvencia és harmonikusai környezetében hoz létre jól meghatározott helyek körül csoportosuló összetevőket, melyek belapolódnak a 0-$f_{óra}$/2 Nyquist sávba. Teljes energiájuk számítható, és az Y felbontás növelésével csökken. Adott szélességű hasznos sáv (adott szűrő) mellett az órafrekvencia növelésével tudjuk „szétkenni” ezt az energiát, és ezáltal csökkenteni a hasznos tartományra eső részét. Ez a D/A átalakítás szükségszerű hibája.

A *csonkítási hiba*, ami a fázisakkumulátor elhagyott bitjei miatti x irányú „mellécélzásból” ered, az elhagyott rész tartalmától függő eloszlású spektrumvonalakat hoz létre. Ha az elhagyott bitek száma nulla, ilyen hiba nem lép fel. Ezt a fázisakkumulátor modulusának megfelelő megválasztásával érhetjük el, ha erre az adott áramkör vagy esetleg szoftver lehetőséget biztosít. Erre a hibára az jellemző, hogy maximális lehetséges értékét a címzésre felhasznált bitek száma határozza meg. A hiba ugyanolyan X felbontású táblázat mellett a frekvenciaregiszter fel nem használt részének aktuális tartalmától függ. Maximumát akkor éri el, amikor a fel nem használt rész minden második összeadásnál ad átvitelt. (Fél érték, a következő legrosszabb a negyed és a háromnegyed, utána a páratlan nyolcadok jönnek, és így tovább, az összefüggés nem monoton!). Ez a DDS módszer hibája, ami csak a modulus olyan megválasztásával lenne kivédhető, hogy a címzésre felhasznált rész utáni valamennyi bit nulla lehessen. Ezt tettük az első példában, néhány diszkrét frekvenciára. Következő két ábránk az első példa „tiszta” és „legrosszabb” spektrumát mutatja: **10. ábra**: 75 Hz, **11. ábra**: 87,5 Hz, két tiszta érték között középen. Ez a két ábra már megemelt PIC órafrekvenciával készült a PWM kimeneten. A PWM a nem ideális integrátor miatt eleve nemlineáris, így a jelentős harmonikustartalom nem meglepő, ahogy az sem, hogy a két ábra közötti különbség a harmonikustartalmat csak kevéssé érinti. Ami feltűnő, az a jóval sűrűbb spektrum és



11. ábra

néhány kiugró spektrumvonal. A kedvező értékek spektruma még sűrűbb, de az amplitúdók kisebbek. A maximális lehetséges hibát csökkenteni a táblázat X felbontásának növelésével (több elemű táblázattal) lehet. Minden egyes többlet címzőbit 6,02 dB-t ér. A táblázatok X és Y felbontása közötti arány megválasztása általában optimalizálás eredménye. Ilyenkor a csonkítási hiba legrosszabb esetét veszik figyelembe. Az optimum ott van, ahol a kétféle hiba hatása kb. egyenlő.

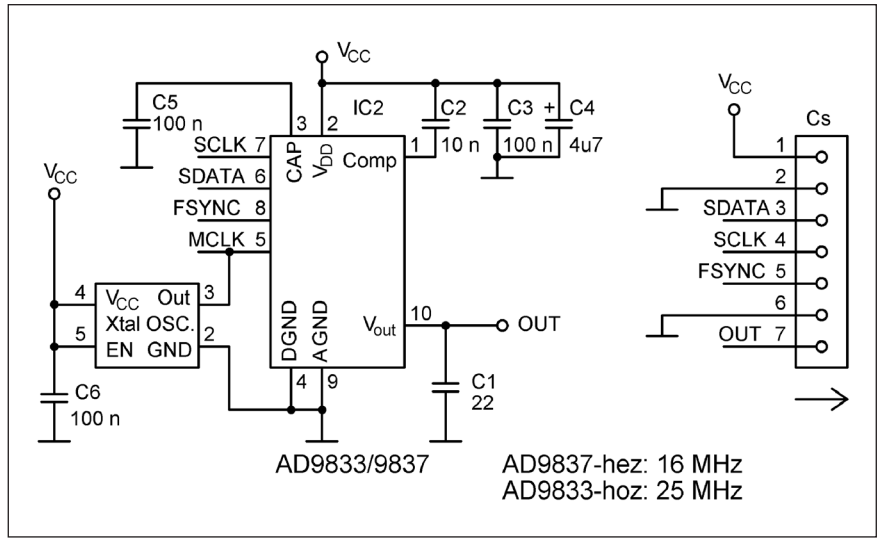
Vannak még az átalakító *gyártási hibái*, melyek közül a *linearitáshibák* (INL, DNL) harmonikusok forrásai. Részletesebb, a spektrumot befolyásoló néhány további hibára (pl. kapcsolási tranziensek, órajel áthallás) is kitérő leírás pl. [5]-ben található.

DDS céláramkörök

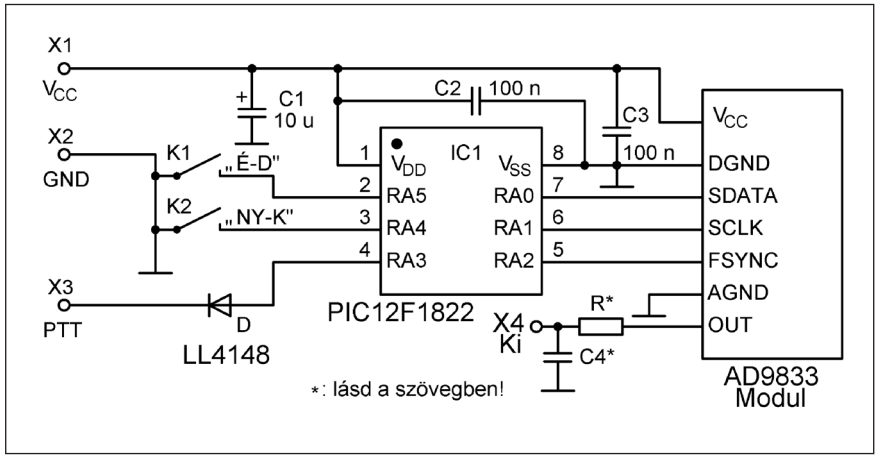
Most, hogy a problémák nagy részét már ismerjük, megpróbálhatjuk legalább felületesen áttekinteni a gyári választékot, de ez az Analog Devices választékára szűkítve is túl nagy falat. (31 típus, 5 MHz-től 3,5 GHz maximális órajel-frekvenciáig, 24-től 48 bites frekvenciaregiszterig, 10-től 14 bites DAC-ig, 1,6-tól 136 dolláros (1000 darabos tétel vásárlása esetén érvényes) egységárig. Ezek közül ragadunk ki néhányat.

AD9833, az egyszerű, de népszerű

(…és testvérei, az AD9837 és az AD9838, alacsonyabb maximális órafrekvenciával.) A felsorolt típusok az Analog Devices választékának belépő szintű modelljei, így nem csoda, hogy az AD9833 paraméterei csak az előbbi két példaszoftver megoldásaival szemben kimagaslóak. Maximális órajel-frekvenciája 25 MHz (AD9837 és 9838: 16 MHz, az A változatoknál csak 5 MHz), 28 bites fázisakkumulátorának felső 12 bitje 10 bit amplitúdó-felbontású szinusztáblát címez. Népszerűségének tehát más okai vannak. Ezek közül az első az, hogy szinuszon kívül háromszög- és négyszögjel előállítására is alkalmas. Ez a választék szegényebb, mint a néhai ICL8038-é, viszont az AD9833 szinuszának alakhűsége messze jobb a töréspontos közelítéssel dolgozó társáénál. A második az, hogy programozása viszonylag egyszerű. Végül az sem megvetendő, hogy ezzel szerelt kész modulok olcsón kaphatók. A hívószó, mint sok más olcsó modulnál, itt is az Arduino, de erről a modult nem tájékoztatták, így bármilyen mikrovezérlő mellett ugyanúgy helytáll. A szerző PIC16F1xxx környezetben használja, ehhez a környezethez alakított ki MPASM nyelvű driver-csomagot. A **12. ábrán** látható egyszerű modul a 25 MHz-es kvarcoszcillátoron és a DDS IC-n kívül csak hat kondenzátort tartalmaz, a mérete kb. 18,5 × 12,4 mm. Kisérletezéshez és átlagos felhasználásra ez is megfelel. A drágább modulokon stabilabb kvarcoszcillátort és egy szélessávú műveleti erősítőt, esetleg még feszültségstabilizátort és digitális potenciométert is találunk. A digitális potenciométer és a DDS adat- és órajele közös, csak a *chip select* jelük különböző. Ez az elrendezés azért is előnyös, mert a szinusz kimenet kis kimenőszintet szolgáltat. A DAC az összes AD98xx típusnál áram kimenetű, de egyes típusok, mint pl. az AD9833, tartalmazzák az áram-feszültség átalakításra szolgáló kis értékű (itt 200 ohmos) ellenállást. A nem kimagasló teljesítménybe azért 25 MHz-es órajel mellett még belefér a kb. 0,093 Hz felbontás, ami végül is nem rossz, pl. az előbbi példa szigorúbb tűrésének tartásához is szűken elegendő. Bár a 25 MHz-es órajelből adódóan az elméleti maximális frekvencia 12,5 MHz (a pontos értéket már nem beleértve), ezt az áramkört általában 1 MHz alatt működő függvénygenerátorokban használják. Ilye-



12. ábra



13. ábra

nekből készre szerelve is sok van a piacon. A 10 lábú változatok (AD9833, AD9837) alkalmazásánál nem árt egy kis óvatosság, a négyszögjel ugyanis táptól tápig amplitúdójú, és ugyanazon a kimeneten jelenik meg. Ez a szinusz amplitúdójához méretezett későbbi fokozatokban jelentős túlvezérlést okozhat! Különösen kínos lehet, ha erre egy hibás parancs kiadása miatt kerül sor. Az AD9838-ban már jutott hely külön digitális kimenetnek. Ez származhat a fázisakkumulátor felső bitjéből közvetlenül vagy felezve, vagy a szűrt, komparált analóg kimenetből.

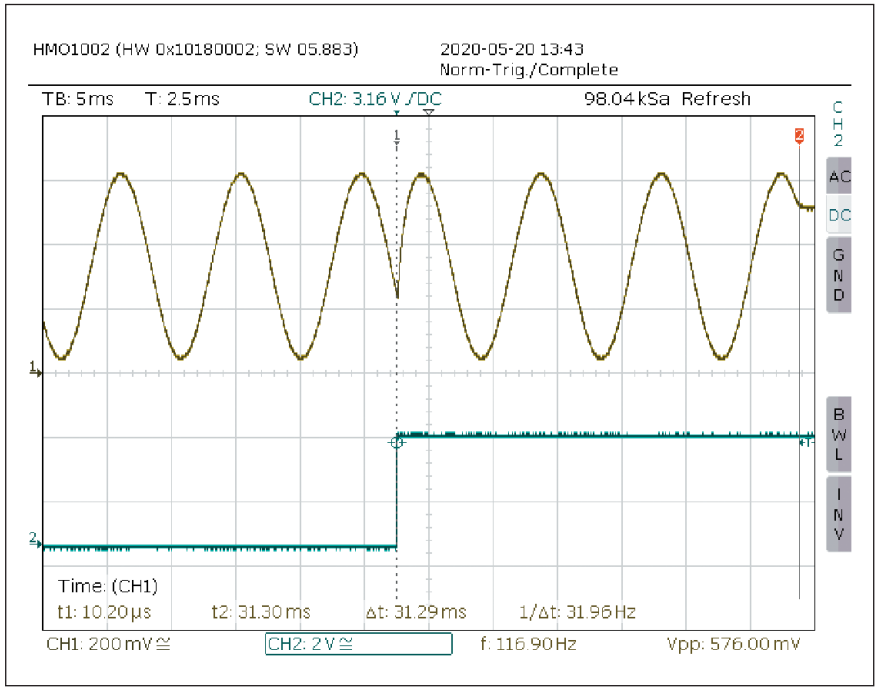
Intermezzo

Az órafrekvencia felével kapcsolatban az elmélet helyett álljon itt egy egyszerű példa! Maradjunk a tízes számrendszernél, és a fázisakkumulátorunk 9 után csorduljon túl, vagyis 9+1 = 0, 9+2 = 1, stb. legyen. Másképp fogalmazva, az összeadás zavartalanul működik, de a tízesek helyén álló számjegy eltűnik. A frekvenciaregiszter számára ugyanez a 10 elemű számtartomány megengedett. Nézzük, mi történik a frekvenciaregiszter néhány tipikus értékénél! Nullánál a fázisakkumulátor értéke nem változik, a kimenőérték az aluláteresztő után a kezdőfázistól függő egyenszint. Egynél szépen egyesével végigjárjuk a szinuszt, mindenki örül. Ötnél a szinusz két, az x tengelyre szimmetrikus pontját címezzük. Mi tudjuk, hogy melyik kettőt, de a külső szemlélő nem, így jó esetben (ha nem elég jó az aluláteresztője), a frekvenciát felismerheti, de az amplitúdóról fogalma sem lesz. Ez az 50% esete. (Az 50% értelmezésénél nem a maximálisan ábrázolható számot, hanem az elemek számát kell figyelembe venni, ami a nulla miatt eggyel több.) Nézzük a másik szélsőséget, a 9-et! Nulla után **9** jön, 9 után (1)**8**, (1)8 után (2)**7**, vagyis ugyanazt a táblázatot járjuk végig egyesével, csak éppen ellenkező irányban. Az eredmény a szinusz szimmetriája folytán egy ugyanolyan szinusz lesz, mint 1-nél, csak fázisban eltolva. Hasonlóképpen a 8 megfelel a 2-nek, és így tovább. A kerek 50%-nál tehát baj van, és amint 50% fölé emeljük a növekményt, ami a frekvenciát lenne hivatott meghatározni, a frekvencia, ahelyett, hogy tovább nőne, csökkenni kezd.

Az áramkörnek két frekvencia- és két fázisregisztere van. Váltásuk a 20 lábú AD9838-nál az erre a célra szolgáló bemeneteken keresztül közvetlenül is, a két 10 lábú típusnál (9833, 9837) csak szoftveres úton, vagyis lényegesen lassabban történhet. A fázisregiszterről eddig nem szóltunk, mert nem volt miért. Ennek tartalma nem növeli az akkumulátor tartalmát, de annak címzésre használt részéhez a táblázat megcímzése előtt hozzáadódik, így a referenciafázishoz képest egy fix fázistolást okoz. A két fázisregiszter váltogatásával az előre beállított fázistolásokkal PSK modulációt hozhatunk létre. Hasonlóképpen hozható létre FSK moduláció a két frekvenciaregiszter váltogatásával. A regiszterek kettőzésének más értelme is van: az éppen nem használtat időzítési problémától mentesen manipulálhatjuk, és ennek megtörténte után regisztert válthatunk. Csak az utóbbi művelet időzítése lesz kritikus. Például a frekvenciaregiszterek rendszeres átprogramozásával sweep generátort hozhatunk létre. A frekvenciaregiszterek váltásakor a jel fázisfolytonos, csupán a frekvenciája változik. A fázisregiszterek váltásánál a fázis értelemszerűen ugrik, de a frekvencia nem változik.

Az AD9833 programozása a 14 bites parancsregiszter, a 28 bites frekvenciaregiszterek és a 12 bites fázisregiszterek feltöltéséből áll. Értelemszerűen amit nem akarunk használni, azt nem kell feltölteni. A kommunikáció 16 bites szavakból áll, melyek első két, illetve ha az „11", akkor az első 3 bitje a regisztert címzi (00 = parancs, 01= frekvencia0, 10 = frekvencia1, 110 = fázis0, 111 = fázis1). Egy 28 bites frekvenciaregiszter feltöltése két lépésben történik: először az alsó, utána a felső 14 bitet küldjük ki, ugyanazzal a címmel, miután a parancsban megadtuk, hogy így fogunk eljárni. Más lehetőség is van, ha csak az alsó vagy csak a felső 14 bitet akarjuk módosítani, de ezt nem mutatjuk be. Az adatátviteli algoritmus SPI, az adatformátum speciális. Ha táblázatból vesszük az adatokat, mert csak néhány fix frekvenciát akarunk előállítani, akkor a programnak nincs gondja, mert már eleve a megfelelő formátumú szavakat tárolhatjuk, de ezek előállításával nekünk annál több. Ha futás közben számított frekvenciákkal dolgozunk (pl. sweep generátornál), akkor a programra kell bízni az átalakítást. Az előbbiek alapján jobban járunk, ha a fix adatok átalakítását is a programra bízzuk. Itt is két egyszerűsített példánk lesz.

Az első feladatot kompromisszumok árán 8 lábú mikrovezérlővel az AD9833-as modul nélkül is sokan megoldották, de ez a megoldás precízebb és tisztább: CTCSS frekvenciákat állítunk elő, de most csak a négy hazai átjátszókörzet frekvenciáit, melyek közül egy Észak-Dél és egy Nyugat-Kelet kapcsolóval választhatunk. Visszajelzés a kapcsolók állása. A nyolclábú mikrovezérlő maradék bemenete a PTT. A kapcsolás a **13. ábrán** látható. A leálláskori fázisfordítás fázisregiszter-cserével történik. A két fázisregiszter közötti 180 fok eltérés beállítása az inicializálás része. A **14. ábrán** a PTT felfutó élénél történő fázisfordítás, majd kb. 31 ms múlva a rezgés leállása látható. A leálláskori pillanatérték egyenszintként megmarad. A program honlapra került változatában a fordított fázisú szakasz hossza már az aktuális jel frekvenciájához kötött: kb. 3 teljes periódus.



14. ábra

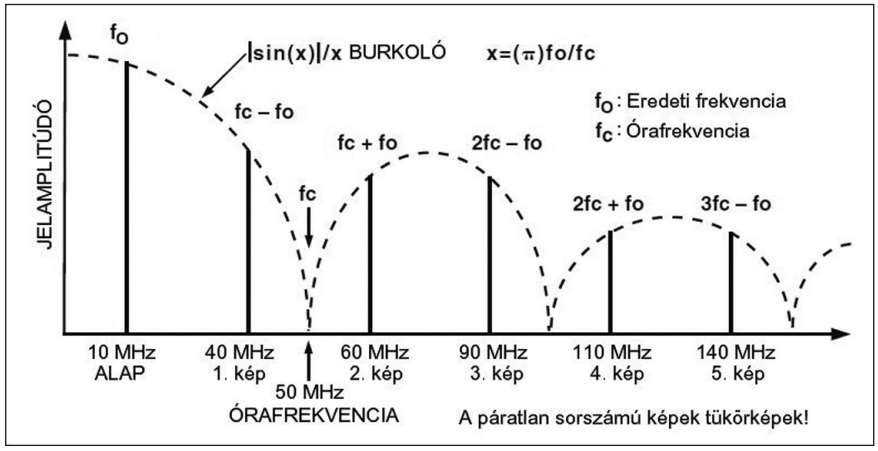
Ennyinek elégnek kell lennie a kívánt hatás elérésére, és kis szerencsével kevésnek az ismételt felismeréshez. Ha netán mégis túl hosszú lenne, a forrásprogram elején leírt módon változtatható. Bár ez kissé tovább drágítja a megoldást, olyan mikrovezérlőt választottunk, aminek van SPI perifériája, mert valószínű, hogy az sem akar bitszintű átvitellel foglalkozni, aki komolyabb feladatot szán az AD9833-nak. Belső oszcillátort használunk. A számok a modul 25 MHz-es oszcillátorához: 74,4 Hz: **799**, 107,2 Hz: **1151**, 114,8 Hz: **1233**, 131,8 Hz: **1415**. A négy közül a legnagyobb eltérés 114,8 Hz-nél van, értéke 0,032%. A *szerkesztőség honlapjára* feltöltött *ctcss9833.xls* táblázat a többi frekvenciát is tartalmazza. Bármelyik szám befér 12 bitbe, így az első töltést kivéve a rövidebb megoldást (az alsó 14 bit töltését) is választhatnánk, de maradunk az általánosnál. Az adatok a kényelmetlen manuális átalakítást elkerülendő nyers formában kerültek a programba, kiküldés előtti átalakításukat a ddsprep szubrutin végzi. Az órafrekvencia és az előállított frekvenciák közötti sok dekádos távolság és az alacsony torzítás miatt a kimeneten a legegyszerűbb aluláteresztő is megfelel.

Másik példánk a 300…3500 Hz-es sávot söpri végig kb. 4,1 s alatt alulról felfelé, milliszekundumonként lépve, majd ezt ismétli a végtelenségig. Gyakorlati szempontból sok haszna nincs, de bemutat néhány nehézséget és azok megoldását. A könnyen módosítható határok a program elején *equ* direktívákban találhatók. A program a növekményeket számítással határozza meg, így az ilyenkor szükséges átalakítást is tartalmazza. A számításnak két alapvető módja lehet: vagy kiszámítjuk a növekmény növekményét, és ezt adogatjuk meghatározott időnként a növekményhez, vagy kiszámítjuk a következő pont frekvenciáját, és ehhez számítunk új növekményt. Az első változat gyors, a második viszont mentes a kerekítési (pontosabban csonkítási, mert mindig lefelé kerekítünk) hiba halmozódásától, ami több ezer összeadás után jelentős lehet. A gyakorlatban érdemesebb ezt a hibát minimalizálni, mint a frekvenciából pontonként visszaszámolni. Ezt úgy érhetjük el, hogy jóval több bitre számítjuk ki a növekmény növekményét, mint amennyit a növekményben majd ténylegesen felhasználunk. 4096 = 2^{12}, így 12 többlet bittel tudjuk tökéletesen eltűntetni a hibahalmozódást. 28+12 = 40, vagyis ötbájtos összeadást kell használnunk az új növekmény kiszámításánál és ennek megfelelő pontossággal kell kiszámítani a növekmény növekményét. A művelet a két határ különbségének meghatározása után egy időigényes sokbájtos osztás. Ha egyszer kiszámítottuk a kezdeti növekményt és annak növekményét, működés közben már sok időt nyerünk a második változathoz képest, így tulajdonképpen 1 ms-nál jóval sűrűbben is frissíthetnénk. Itt is a PIC belső oszcillátorát használjuk, mert a mikrovezérlő órajele a frekvencia pontosságát nem befolyásolja. Maradunk a PIC12F1822-nél. Így nyolclábú mikrovezérlőnk egy lábán indító impulzust is adhatunk vagy fogadhatunk egy jumper állása szerint. A program 25 MHz-es DDS oszcillátort feltételez. Az AD9833-as modulokon ilyen van. Más oszcillátorfrekvencia használata esetén csupán egy konstans értékét kell megváltoztatni. Mivel ez a frekvencia csak alacsonyabb lehet a jelenleginél, a felbontás a maximális előállítható frekvencia kárára finomítható.

AD9835, a nagyobb testvér, és lassúbb párja, az AD9832.

Ez a két áramkör ugyanúgy 12 bitet használ egy 10 bites koszinusztábla címzésére (mert a koszinusz páros függvény), mint az előbbiek, vagyis harmonikustorzítás tekintetében ugyanolyan, de frekvenciaregiszterei négy bittel hosszabbak. Maximális órajelfrekvenciája 50 MHz, ill. 25 MHz, így az elérhető felbontás 50 MHz-en 0,01164 Hz, 25 MHz-en 0,00582 Hz. Fázisregisztereinek száma megduplázódott, így az ADS9832/9835 regisztercserével QPSK modulációra is alkalmas. A fázisregiszterek, mivel ugyanakkora a táblázat, 12 bitesek maradtak.

A 16 lábú tokon megjelent egy *FS_ADJ* nevű bemenet. Ez az áramkimenetű DAC maximális áramát határozza meg. A gyári kapcsolási rajzon ide egy ellenállás csatlakozik az *AGND* felé. A helyzet azonban nem ilyen egyszerű. A **15. ábrán** egy ideális D/A átalakító, mint nulladrendű tartó frekvenciamenete látható, a szűrő előtt mérve, az órajel és többszörösei körül párban jelentkező frekvenciákkal. A keverés esetével ellentétben itt általában a párok egyik tagja sem hasznos. A |sin(x)| /x jellegű burkoló azt jelenti, hogy a szintetizált jel amplitúdója a frekvenciával csökkenő jellegű. Az FS_ADJ bemenet ennek a kiegyenlítését is lehetővé teszi. Korábban erről nem esett szó, mert kis x-ekre a sin(x) = x közelítés alkalmazható, vagyis az emiatti amplitúdóváltozás az eddig használt tartományokban elhanyagolható volt. Egyes drágább



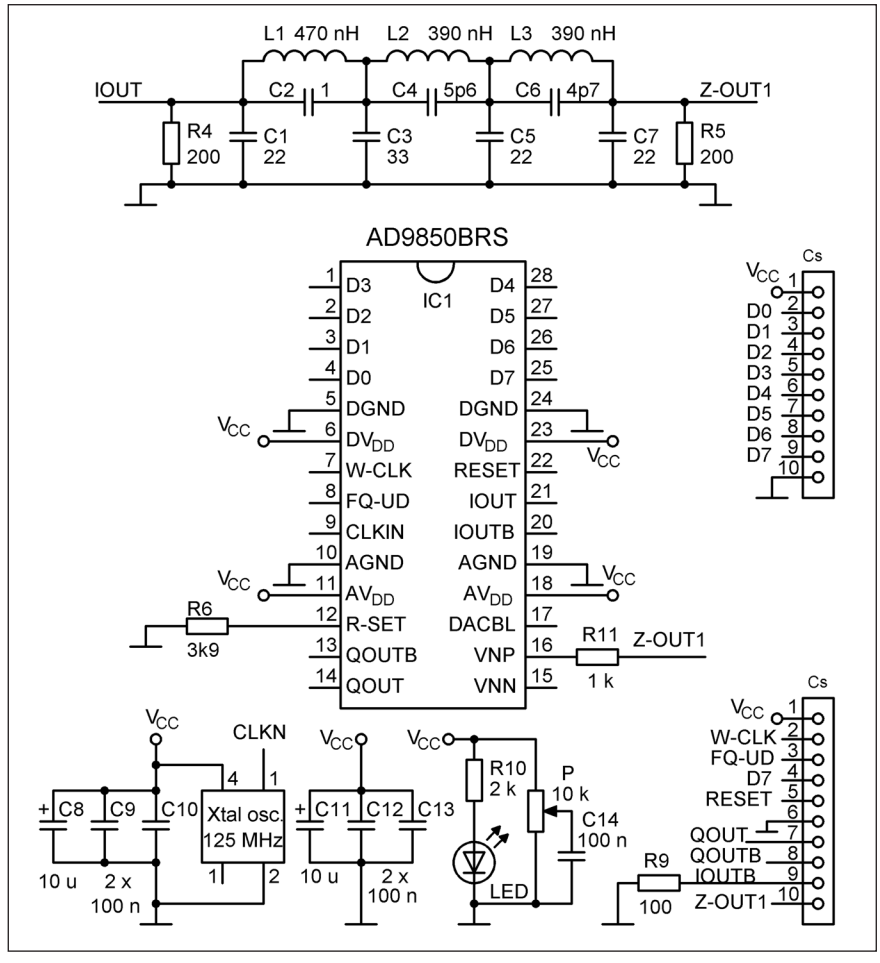
15. ábra

típusok tartalmazzák a burkoló korrekcióját, ami kb. az órajel 45%-áig működik helyesen. Ott is kikapcsolható, mert jelentősen növeli a fogyasztást. A görbének az órafrekvencián és annak többszörösein nullhelye van, ezért, ahogy már az 5. ábrán is látható volt, ezek a frekvenciák nem jelennek meg a spektrumban. Még valami látható az ábrán: szűrés előtt elég nagy amplitúdóval vannak jelen a jelben az órajelnél nagyobb frekvenciájú képek is, így aluláteresztő helyett sávszűrőt használva ezek közül is kiválaszthatunk egyet. Az is látható, hogy az órafrekvencia feléhez közeledve az alap és az első tükörkép amplitúdója is közeledik egymáshoz, egyre nehezebb feltételeket támasztva a szűrő számára.

További lábak állnak rendelkezésre a frekvencia- és fázisregiszterek gyors és precizen ütemezett váltására. Csak arra kell ügyelni, hogy a váltás ne a DDS-órajel felfutó élénél történjen, mert az átmeneti bizonytalanságot okozhat. A megnövekedett bitszám és regiszterszám miatt az adat mellett már nem fér el a címe, így az SPI kommunikáció szerkezete megváltozott. Egy 16 bites szóban csak 8 adatbit megy át, emiatt egy frekvenciaregiszter teljes módosítása négy szó átvitelét igényli. Utána egy precízen időzített kétbájtos paranccsal érvényesíthetjük a módosított regisztert. Az inicializálás is bonyolultabbá vált. A honlap AD9835 alkönyvtárában néhány, a kezelésnél hasznos MPASM szubrutin található PIC16F1xxx mikrovezérlőre. Ezek az áramkörök finom frekvenciafelbontásúak, de ténylegesen kihasználható frekvenciatartományuk nem fedi le a rövidhullámú amatőrsávokat. A megoldás egy olyan PLL VFO, ami a DDS által előállított referencia sokszorozásával működik, mint pl. *HA7SG* konstrukciója [6], AD9832-vel és a megengedett maximumnál alacsonyabb frekvenciájú kvarcoszcillátorral. Egy ilyen konstrukcióban a torzítást elsősorban a fáziszárt hurokban található szinuszoszcillátor határozza meg, viszont a felbontás csökken. *HA7SG* másik DDS PLL VFO-ja [7] SD5000 alapú keverőhöz kis fáziszajú ellenfázisú négyszögjel-kimenettel rendelkezik.

AD9850 és AD9851, a VFO-nak való

Az AD9850 és 9851 a maga 125 ill. 180 MHz-es maximális órafrekvenciájával már eléri az amatőrsávokat. Fázisakkumulátora 32 bites, így a megnövekedett működési frekvencia mellett is finom (AD9850: kb. 0,029 Hz; AD9851: kb. 0,042 Hz) marad a felbontás. A D/A felbontása változatlan maradt. Magasabb órafrekvenciához gyorsabb kommunikáció illik: ezeket a típusokat 8 bites párhuzamos kommunikációra tervezték. A készen vásárolható modul (**16. ábra**) kialakítása is ehhez igazodik. Bár van soros lehetőség is, az, fordított bitsorrendje miatt, PIC mikrovezérlővel csak körülményesen használható. Ennek ellenére az amatőrök szinte kizárólag ezt a kisebb lábszámú processzort és egyszerűbb nyák rajzolatot kívánó soros programozást választották.



16. ábra

A fázismoduláció módja megváltozott: tetszőleges értékek helyett 11,25 fok egész számú többszörösei közül lehet fázistolást választani. A párhuzamos adatcsomag a négy frekvenciabájttal kezdődik, amit egy parancsbájt követ. Ebben van elhelyezve a fázist kijelölő öt bit is. A soros adatcsomag sorrendje fordított. A parancsbájtban egy bit a soros üzemmód lehetősége miatt fix értékű, így marad kettő. Az egyik a standby üzemmódot jelöli ki, a másik (az AD9851-nél) a bemenő órafrekvencia hatszorozását teszi lehetővé. A 180 MHz-es maximális frekvenciához így 30 MHz-es oszcillátor használható. Ha az IC helyett a modult vásároljuk, azon az inverz Csebisev karakterisztikájú aluláteresztő szűrő is megtalálható. Aki kényelemszeretőbb, kész VFO modult is beszerezhet ugyanonnan. Az AD9850/9851 modul egy megfelelően programozott vezérlő processzorral már megfelelhet egy vevőben, mert azzal legfeljebb magunkat bosszanthatjuk, de nemkívánatos spektrumösszetevői miatt nem biztos, hogy minden környékbeli amatőr boldog lesz, ha adásnál is ezt használjuk. Az ilyen konstrukcióknak, melyek mindegyikében gondoskodni kellett a harmonikusok további szűréséről, már sok éve se szeri se száma. Használati kényelemben jelentős különbség lehet köztük. Ebbe a családba tartozik pl. *HA7SG* népszerű DDS VFO-ja [8]. Ő a vezérlésre Atmel AT89C1051 mikrovezérlőt, a nemkívánatos frekvenciák ellen sávonként átkapcsolható sávszűrőt használt. Az áramkör így kiegészítve már teljes értékű.

AD5932, az egyszerű sweep generátor

Az AD5932 50 MHz maximális órafrekvenciával működik, de csak 24 bites. Ez negatív rekord. D/A átalakítója 10 bit amplitúdójú, ez is belépő szint. Különlegességét az adja, hogy programozott időközönként automatikusan, vagy külső léptető jel hatására egy programozott értékkel növelni tudja a frekvenciaregiszter tartalmát, vagyis ütemezetten növelni tudja a frekvenciát. Az érték negatív is lehet. Egy futáshoz elég egyszer felprogramozni, nem kell minden frekvenciát külön kiszámolni és átküldeni. Ez a mikrovezérlő számára komoly megtakarítás, és jóval gyorsabb működést tesz lehetővé. A megadandó paraméterek: kezdeti frekvencia, lépéshossz, összlépésszám, lépésidő. Ehhez a feladathoz ez a legkönnyebben kezelhető paraméterrendszer. A kezdeti frekvencia regisztere 24, a lépéshossz regiszter 23 + előjel, a lépésszám regiszter 12, a lépésidő (pontosabban az egy lépésre szánt periódus-szám) regiszter 14 bites. A periódus választhatóan az óra vagy az előállított jel periódusa. Az első esetben a frekvencia növekedése lineáris, a másodikban exponenciális. A választó bit a 14 bitből a legfelső. A következő két bit szorzókat definiál. Erre azért van szükség, mert a maradék 11 bit maximum 2047 periódust jelent, és ez 50 MHz-en csupán 40 us. A szorzók értéke 1, 5, 100 és 500 lehet, így egy lépés ideje 20 ms-ig nyújtható. A sweep a CTRL bemenet felfutó éle hatására, kb. 10 órajel késleltetéssel indul. A frekvenciaváltozás fázisfolytonos. A sweep végén csak a léptetés áll le, a kimeneten az utolsó frekvencia resetig megmarad. Az áramkör analóg kimenetén szinusz vagy háromszög, digitális kimenetén négyszögjel érhető el, de nem egyszerre. Van még egy *Syncout* kimenet, ami kétféleképp használható: vagy 4 óraütem hosszú impulzust ad minden lépésnél, vagy csak egyet a ciklus végén. Ezt, mint a neve is mutatja, szinkronizációra használhatjuk, pl. a vezérlő program ezen keresztül értesülhet a sweep befejezéséről és indíthat újabbat. Bár az AD5932 megtakarítja számunkra a sűrű számolgatást és kommunikációt, a bemenőparamétereink nem feltétlenül ebben a formában állnak rendelkezésre, ezért némi kezdeti számítás általában így is elkerülhetetlen. Ha ennek eredményeként a lépéshossz nem egész szám, akkor a kerekítési/csonkítási hiba halmozódását sem kerülhetjük el. Jobb tehát, ha tudomásul vesszük, hogy lépéshosszban is az áramkör frekvenciafelbontásához vagyunk kötve, ami, mint tudjuk, decimálisan nem kerek érték. Az ilyen lépéshosszhoz a frekvencialöketet legalább lefedő lépésszámot kell választani.

Az AD9954-ről dióhéjban

Ez a típus nagy felbontású táblázatával tűnik ki. 32 bites fázisakkumulátorának 19 felső bitje 14 bit felbontású D/A átalakítót címez. Maximális órajele 400 MHz. Frekvenciaakkumulátora és a beépített RAM segítségével többféle üzemmódú sweep generátorként is alkalmazható. Az amatőrök számára legnagyobb előnye a nagy felbontású táblázat a nagy felbontású D/A-val, ami jelentősen csökkenti a harmonikusok és egyéb nem kívánt melléktermékek amplitúdóját. Szimmetrikus kimeneteinek az a különlegessége, hogy referenciaszintjük nem az *AGND*, hanem az *AVDD*. A 48 lábú felületszerelt áramkör sok kivezetése táp és *GND*, melyekből többfélét is kíván. Az analóg tápfeszültség 1,8 V, a logikai mag 1,8 V-os, a logikai I/O számára megengedett a 3,3 V. Soros programozású, a formátum SPI. Az átvitel egy regisztercímmel kezdődik, amit az adott regiszter hosszának megfelelő számú bájt követ. Az AD9954 a regiszter teljes feltöltése után akkor is új címet vár, ha közben nem vettük el és adtuk vissza a *chip selectet*. Ez az áramkör is előfordul amatőrkészülékekben.

AD9914, a leggyorsabb és a legdrágább

Az AD9914 legnagyobb órafrekvenciája 3,5 GHz. D/A átalakítója 12 bites. A 88 lábú szörnyetegnek 32 bites párhuzamos portja van, de akár soros porton keresztül is programozható. A maradék egy részét a négyféle tápfeszültség teszi ki, de több funkciója is lábakon keresztül vezérelhető. Frekvenciaregisztere 32 bites, de az effektív frekvenciaszó programozott modulusú üzemmódban 64 bites, ami maximális működési frekvencián, maximális modulussal kb. 190 pHz frekvenciafelbontásnak felel meg (!), fázisfelbontása 16 bit. 12 bit felbontású amplitúdómodulációval is rendelkezik. Második akkumulátora automatikus frekvencia- vagy fázisléptetésre alkalmas, oda-vissza, egy megadott tartomány átugrásával is, de változtatható modulus beállítására is használható. Itt köszön vissza első DDS példánk. Ahhoz, hogy egy frekvenciaérték pontosan előállítható legyen (ne legyen csonkítás), olyan modulus kell, aminek az előállítandó frekvencia (maradék nélküli) osztója. A változtatható modulus ezt teszi lehetővé. Az egy frekvenciaadat helyett három adatot kell kiszámítani, de ezt a kezelő programra lehet bízni. Nyilvánvaló azonban, hogy nem férne el annyi táblázat, ahány modulusra szükség lehet. Így aztán természetesen itt is csak egy táblázat van, vagyis a modulusok különbségét sok lépésre elosztva el kell csalni. Mint minden csalás, ez is parazita frekvenciákat eredményez. Ezek amplitúdóját a paraméterek kiszámításának pontossága és a táblázat felbontása határozza meg. A számítás részletei a [9]-ben tanulmányozhatók.

Ami nem DDS, de érdekes lehet: az Si570

Az Si570 (és párja, a VCXO-ként használható Si571) furcsa szerzet: lényegében egy digitális PLL oszcillátor. Kimenete négyszögjel. D/A átalakítás nincs, így a hibáival sem kell számolni. A típuson belül több változata van, eltérő típusú digitális kimenettel, eltérő pontossággal. Ezek a paraméterek a maximális kimenőfrekvenciára is hatással vannak. Amikor az amatőr különlegesen finom frekvenciafelbontást keres elfogadható áron, és a négyszögjel megfelel neki, akkor az Si570 jó választás lehet. Kezelése nem a legegyszerűbb, de egy jól megírt program megbirkózik vele. A frekvenciákat egy 114,285 MHz névleges frekvenciájú kvarcoszcillátor jeléből származtatja. A névleges azt jelenti, hogy használatba vétel előtt először a pontos frekvenciát kell megtudni, mivel az a számítás alapja, annak érdekében, hogy az áramkört kalibrálni lehessen. Előre beállított frekvenciával szállítják, így annak ismeretében a kiolvasott adatokból (RFREQ, HSDIV, N1) kiszámítható a tényleges kvarcfrekvencia.

Az áramkör úgy működik, hogy először egy digitális PLL segítségével, aminek visszacsatoló ágában egy programozható 38 bites frakcionális frekvenciaosztó (olyan osztó – RFREQ –, ami nem csak egész számokkal tud osztani) működik, az oszcillátor frekvenciáját felsokszorozza a 4,85…5,67 GHz tartományba (ez kb. 14%-os átfogás), ahonnan két programozható frekvenciaosztón keresztül jut el a jel a kimenetre. Az első (HSDIV) osztásaránya 4, 5, 6, 7, 9 vagy 11, a másodiké (N1) 1, vagy 128-ig bármilyen páros szám lehet. N1-et a lehető legkisebbre érdemes választani. Természeténél fogva a frakcionális osztó is termel parazita frekvenciákat, de ilyen bitszám mellett azok a gyártó szerint kordában tarthatók. A programozás I^2C buszon keresztül történik, vagyis csak két vezetéket igényel, viszont az összes lehetőség közül a leglassúbb. Az Si570 nem túlságosan új termék, magyar amatőrfórumokon is már legalább 10 éve szerepel. A [10] egy megépített kapcsolást ismertet (angolul), és kitér a számítás leegyszerűsített, könnyen programozható módjára is.

A szövegben említett programok megtalálhatók a **www.radiovilag.hu** *honlapon, ezen évkönyv tartalomjegyzékénél.*

Irodalom:

1. Nagymáté Csaba-Kőnig Imre: Elektronikus dallamcsengő 4. rész, RT 17/12 pp. 390-393
2. Kőnig Imre: Mikrovezérlős ultrahang-generátor az állatriasztókhoz RT15/12 pp. 388-391
3. Pálinkás Tibor-Kőnig Imre: Digitális fordulatszámmérő, RT 2020/7-9
4. Kőnig Imre: A kis hangoskodók, RTÉK 2018 p. 88: „Az eredeti alkalmazás”
5. https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/Technical-Tutorial-DDS/Section4.pdf
6. Schulcz Gábor: DDS PLL VFO, rövidhullámú adó-vevőkbe, RTÉK 2001 pp. 187-196
7. Schulcz Gábor: DDS PLLVFO az SD5000 alapú keverőhöz, RT03/7-8
8. Schulcz Gábor: DDS VFO rövidhullámú amatőr adó-vevőkhöz, RT 1999/1-5
9. Analog Devices: AN0357 (Application Note)
10. cbjohn.com/aa0zz/PPPL/Article.pdf

Nem jelölt referenciák: az egyes termékek adatlapjai a *www.analog.com* és a *www.silabs.com* honlapról

LOMEX
ELEKTRONIKAI ALKATRÉSZKERESKEDELEM
1134 Budapest, Lehel utca 17.

Nagykereskedelem
telefon: +36-1 349-5906
fax: +36-1 320-3292
honlap: www.lomex.hu
e-mail: info@lomex.hu
nyitva tartás:
hétköznap 9:00 - 17:00

Szaküzlet (kisker)
telefon: +36-1 320-2610
fax: +36-1 320-3292
e-mail: szakuzlet@lomex.hu
nyitva tartás:
hétköznap 9:00 - 17:00

Webshop
telefon: +36-1 237-1639
honlap: www.lomex.hu
e-mail: webshop@lomex.hu

Gazdaságos vektor-jelgenerátor a Rohde & Schwarz-tól az autóipari, IoT- és oktatási ágazatoknak

Az új, R&S® SMCV100B típusú vektor-jelgenerátort autóipari, műsorszóró, helymeghatározó és rádiófrekvenciás adatátviteli alkalmazásokhoz tervezték, amely egyúttal az első több szabványt ötvöző platform is. A műszer összes funkciója engedélyező kóddal aktiválható. E vektor-jelgenerátor a laboratóriumoktól kezdve egészen a gyártóüzemekig számos különféle területen kiválóan használható, és tökéletesen az egyedi igényekhez illeszthető olyan környezetekben, ahol többféle technológiát kell egyszerre kezelni.

Az R&S® SMCV100B az első gazdaságos kivitelű jelgenerátor, amely 7,125 GHz-ig terjedően képes lefedni az 5G NR norma kiterjesztett FR1-es sávját, így kitűnően alkalmazható mobil kommunikációs területeken. Az összes elterjedt mobiltelefon- és rádiófrekvenciás adatátviteli szabványt – beleértve többek között az IoT- és Wi-Fi (802.11xx normacsaládba tartozó) rendszereket is – támogató, R&S® WinIQSIM2 nevű szimulációs programmal is képes együttműködni a műszer. Végső soron így több mint harmincféle szabványos jel állítható elő vele, a tetszőleges hullámforma-generátor fokozata segítségével létrehozott, egyedi felhasználói hullámalakok mellett.

A járműiparban autórádiók vagy navigációs eszközök gyártósor végén történő teszteléséhez használható az R&S® SMCV100B. Műsorszóró adások mobil kommunikációs, rádiófrekvenciás adatátviteli és helymeghatározási normákkal való összekombinálására is alkalmas. Eldöntendő („Megfelelt” – „Nem felelt meg”) jellegű ellenőrző mérésekhez egy navigációs műhold jelét képes előállítani, GPS, GLONASS, Galileo vagy BeiDou szabvány szerint. Rögzített műholdpozíciókhoz tartozó funkcionális tesztekhez előre beállított, időben korlátos I/Q-jelminták is kivehetők belőle. A rugalmasságának

köszönhetően, mivel számos különféle alkalmazási terület lefedhető vele, egy gyártósoron bármikor áthelyezhető más feladatkörbe. A műszer e képességét kihasználva minimalizálható a tartalék generátorok száma és jelentősen csökkenthető az állásidő is.

Világszerte használt műsorszóró szabványokat támogató, FPGA-alapú, valósidejű kódolóval is rendelkezik az R&S® SMCV100B, amely analóg és digitális rádiórendszereket egyaránt támogat, második és harmadik generációs digitális földfelszíni, illetve műholdas televízió-rendszerekkel együtt. Ez az első gazdaságos készülék, amely a DVB-T2 és DVB-S2X norma mellett ATSC 3.0 szabványú jelek előállítására is képes.

Az R&S® SMCV100B fejlett, közvetlen RF-jelelőállítási elven működik 2,5 GHz-ig terjedően. Az I/Q-modulálás és a rádiófrekvenciás jelek létrehozása így teljesen digitális jelfeldolgozással történik, kiküszöbölve az analóg I/Q-modulátorokra jellemző amplitúdó-aszimmetriát és vivőszivárgást. Újszerű kialakításának köszönhetően a műszer SSB-fáziszaja is rendkívül alacsony. A 2,5 GHz feletti jeleket analóg keverési elvet alkalmazva állítja elő a generátor.

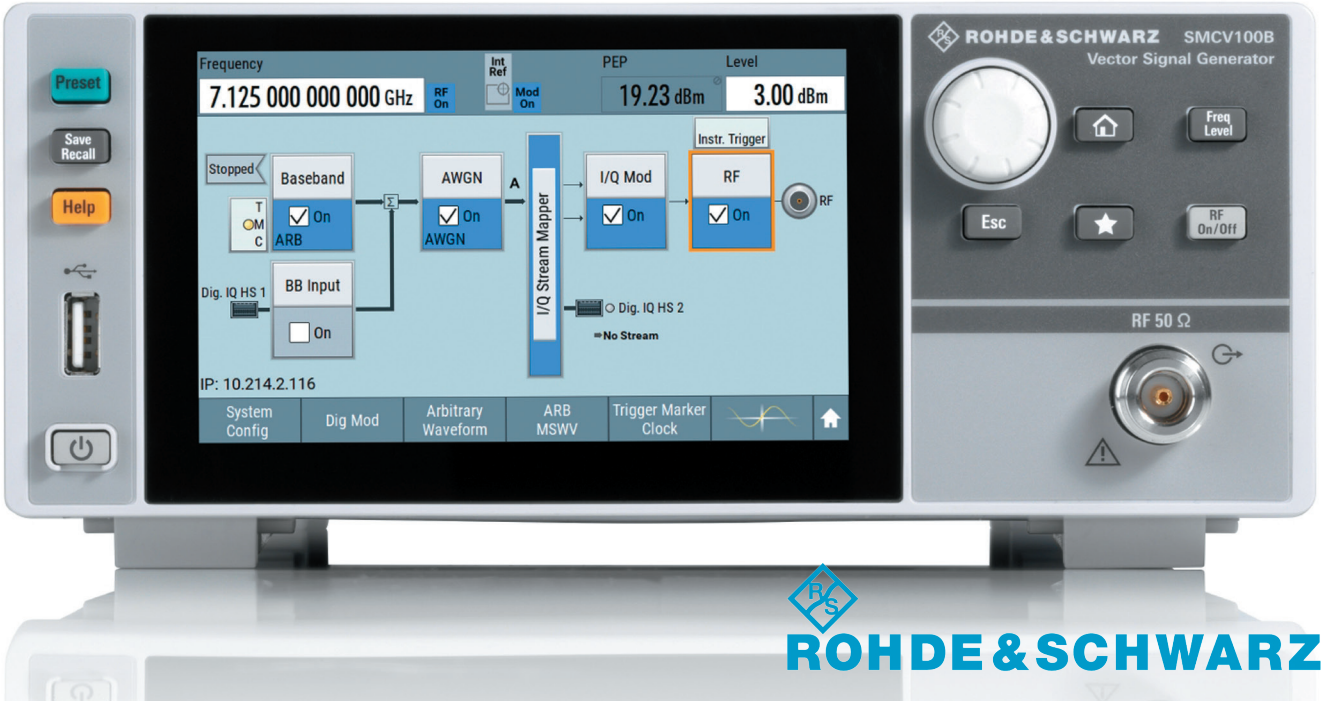
A nagy számítási teljesítményű, Linux-alapú műszer képességei mindenre kiterjedően szoftveropciókkal bővíthetők. Az összes ilyen kiegészítést tartalmazza a generátor belső programja (firmware-e), amelyek egy feloldó kulccsal igény szerint aktiválhatók. Ilyen többek között a 6 GHz-es vagy 7,125 GHz-es frekvencia-kiterjesztés, a modulációs sávszélesség 250 MHz-re történő bővítése, a kimeneti teljesítmény 23 dBm-re való emelése, vagy akár hullámforma-adatfolyam kezelés engedélyezése 60 MHz-es RF-sávszélességig (75 MHz-es mintavételi sebességig) terjedően. A tetszőleges hullámforma-generátor memóriájának mérete 64 millió mintáról 1 milliárd mintáig bővíthető.

Általános célú műszerként az R&S® SMCV100B minden laboratóriumban, egyetemen, iskolában, vagy – például az autóiparban – gyártósoron alkalmazható. Laboratóriumokban különösen a rendkívül halk hűtőrendszere és kis mérete következtében használható igen praktikusan.

Az autóipari, műsorszóró, helymeghatározó és különféle mobil kommunikációs rendszerek méréseihez tervezett, R&S® SMCV100B típusú vektor-jelgenerátor már megrendelhető a Rohde & Schwarz-tól.

További információ: **www.rohde-schwarz.com**

Rohde & Schwarz Budapesti Iroda
1138 Budapest, Madarász Viktor u. 47-49.
Tel.: +36 1 412-4460
E-mail: RS-Hungary@rohde-schwarz.com



Mesterséges intelligenciával a Raynaud-betegség ellen

Thuróczy Bertalan orvosbiológiai mérnök, b.thuroczy@gmail.com

A Rádiótechnika 2019/9. *számában,* „Okos” kesztyű *címmel már szó volt erről a projektről: a BME (Budapesti Műszaki Egyetem) és az SE (Semmelweis Egyetem) közös mesterképzésének orvosbiológiai mérnökhallgatójaként, a saját ötletem alapján, és személyes motivációmból fakadóan fejlesztem ezt az innovatív eszközt.*

1. A fejlesztésről röviden

Egy pár fűthető kesztyűbe varrt szenzorrendszerből és egyéb rendszerelemekből álló konfigurációról van szó. A bal és jobb kesztyű között kommunikáció nincs, ezek külön-külön a szerverrel kommunikálnak WiFi-n keresztül. A WiFi modult egy-egy Wemos D1 Mini Pro tartalmazza. Az adatok emellett USB UART-on is kiolvashatók a modulokból. A modult és a vázolt folyamatokat a későbbiekben mutatjuk be.

A mért paraméterek a véroxigénszint, pulzusszám, bőrhőmérséklet és külső hőmérséklet, aktivitás, valamint a stressz-szint. (A prototípus esetén a felsoroltak a jobbkezes kesztyűre érvényesek; a balkezesben nincs külsőhőmérséklet-érzékelő és stressz-szint mérő, de hiányzik belőle a később tárgyalt kijelző is.) Ezen paraméterek korrelálnak egy bizonyos autoimmun betegség, nevezetesen a Raynaud-szindróma (**1. ábra**; jellegzetes tünetek) esetében. Ez egy perifériás keringési rendellenesség, melynek során a hajszálerek olyannyira összeszűkülnek vagy elzáródnak különböző autoimmun folyamatok miatt, hogy azokba nem tud vér folyni. Ekkor oxigénhiányos állapot jelentkezik az érintett területeken, ami hosszú ideig fennállva akár sejtelhaláshoz is vezethet. Ezt megelőzendő, az élettani paramétereket monitorozó kesztyű a fűtési tulajdonságát kihasználva tud közbeavatkozni a keringés fenntartása érdekében. Mivel a jelenség nem csupán hőmérséklet-, hanem stressz-szint függő is, a jelen cikkben ismertetett módszer segítségével összefüggéseket lehet feltárni azzal kapcsolatban, hogy milyen körülmények között lép fel a jelenség, milyen gyakorisággal és súlyossággal.

Az eszköznek diagnosztika felállítását támogató funkciója is van: Raynaud-szindrómás betegeknél a tünetek és a szervezetben a háttérben álló folyamatok különbözők lehetnek, melyeket több vizsgálat elvégzésével lehet megállapítani. Létezik elsődleges és másodlagos Raynaud-betegség, melyek megkülönböztetésében ez a kézfejen viselhető orvostechnikai eszköz is támogató szerepet játszhat. Ezen felül – a kesztyű szenzorrendszere által megfigyelhető betegségek palettáját bővítve –, a bevarrt gyorsulásérzékelő képes az ujjak finomremegését is érzékelni, ami a Parkinson-kórnak lehet egy korai tünete. Ezen szenzor további tulajdonságát kihasználva, elesés-detektálást is megvalósítottam a rendszerben. Ez a funkció szintén az idősebb korosztálynak nyújthat segítséget azáltal, hogy értesítést, riasztást küld a megadott hozzátartozónak. Így az időskori balesetek következményeinek csökkentésére is alkalmas.

Végezetül, a stressz-szint mérését is „ideális” körülmények közé helyezi az eszköz, hiszen természetes viszonyok között, akár a hétköznapi tevékenységek alatt képes monitorozni a viselőjének stresszállapotát!

2. Megoldás a Raynaud-jelenségre

Az „okos kesztyű” hardvere a kereskedelemből beszerzett kesztyűkbe varrt szenzorokból, vezérlő, kommunikációs és visszajelző egységekből áll, míg szoftvere adatgyűjtő, adatfeldolgozó, adattároló, és megjelenítő alkalmazásokból. A rendszer rutinszerű működése során a szenzorok által mért adatokat a hardver-vezérlő előfeldolgozza, majd eljuttatja a szoftveres alkalmazásokhoz. A továbbiakban ennek a folyamatnak az elemeiről, valamint a működést megvalósító hardveres és szoftveres komponensekről lesz szó.

A szenzorok mérései alapján egy valószínűségi modellel, jelen alkalmazásban *rejtett Markov modellel* elemzem az adatokat, és keresek összefüggéseket a mért élettani paraméterek között. A felvetődő kérdések: mikor, milyen körülmények között jelentkezik a Raynaud-jelenség? Hidegben/melegben, stresszes/nyugodt

1. ábra

állapotban, aktív/passzív tevékenységet végezve? Az algoritmus a mért paraméterek alapján tanul gépi tanulás módszerével, és egyre pontosabb válaszokat ad a fent említett kérdésekre. Általa személyre szabottan meg lehet állapítani azt a stressz-szintet, vagy hőmérsékletet, vagy akár a kettő kombinációját, ahol a szervezet eléri azt a „küszöbszintet", ahonnan beindul a kóros, túlzott érösszehúzódás.

Mindezt egy hétköznapi viseletre szánt, szenzorokkal felszerelt fűthető kesztyűpárban implementálom.

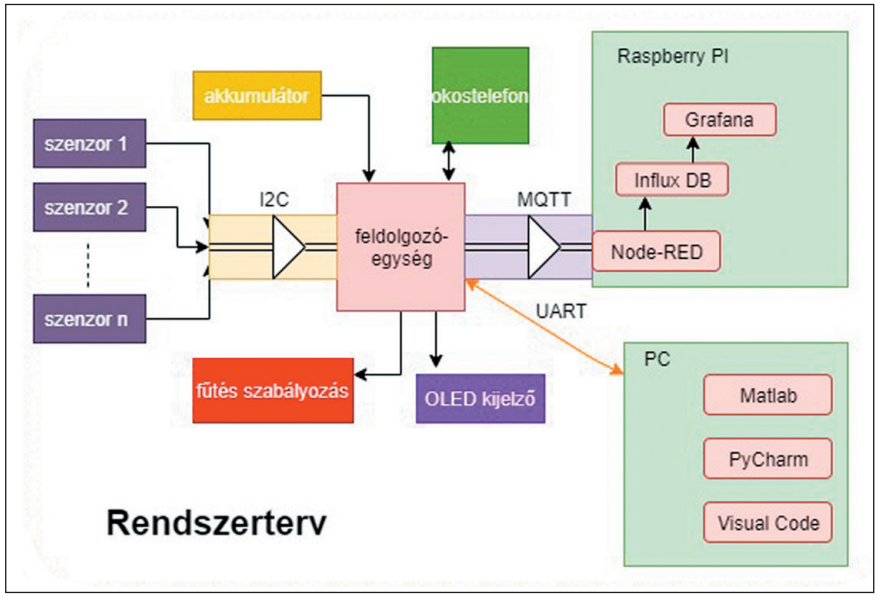
3. Rendszerterv

A megvalósítandó rendszer tömbvázlatának (**2. ábra**) segítségével átlátható a működés: különböző szenzorok adatait gyűjti egy központi feldolgozó egység, amely ezek alapján többféle funkciót is ellát. Ezek a funkciók: a fűtésszabályozása, egy külső szerverrel való kommunikáció, illetve vezérlési adatok fogadása Android-alapú telefonról. Az azonnali visszajelzés érdekében egy OLED alapú kijelzőmodul is bekerült a rendszerbe. Ez lehetővé teszi, hogy a mért adatokat ne csak a szerverhez kapcsolódva érhessük el. Az adatgyűjtés másik módja, ha soros kommunikációs protokollon (USB UART-on) keresztül férünk hozzá eszközünkhöz. Ebben az esetben könnyedén exportálhatjuk az információkat akár Matlab-on keresztüli, akár python script-alapú jelfeldolgozás céljából. A Visual Code nevezetű szoftver kényelmes hozzáférést biztosít mindehhez, és egy jó alternatív megoldásnak bizonyult a szintén széles körben használt PuTTY interfész mellett.

A feldolgozó egység kommunikációját mindenképpen vezetéknélkülire is kellett tervezni, hiszen mindezt egy hordozható eszközbe integráltuk! Emiatt egy WiFi-n keresztüli elérhetőség került a rendszerbe, melynek alkalmazás-rétegbeli kommunikációs protokollja az MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Ez a WiFi-alapú megoldás a Bluetooth-al ellentétben kevésbé energiatakarékos, viszont az adatok hatékony eljuttatása a Raspberry Pi-n futó szerverre ezt a megoldást igényelte. A későbbiekben számításba lehet venni a Bluetooth-alapú megoldást is: ezen keresztül kommunikálhatunk az okostelefonunkkal, ami egy MQTT kliens segítségével továbbítja az adatokat.

Miután az adatokat MQTT-n fogadja a Raspberry Pi eszközünkön futó Node-Red szerver, azon további feldolgozást végezhetünk. Ezekről a lépésekről a szoftver megvalósításával kapcsolatos fejezetekben lesz szó. A Node-Red szerver a már feldolgozott mérési információkat egy adatbázisba (*Influx DB*) menti, ahonnan el tudja érni azokat a *Grafana* nevezetű megjelenítő szoftver is.

A Node-Red, InfluxDB, Grafana hármas tehát egy Raspberry Pi eszközön futó konfiguráció, melynek feladatai az adatok fogadása, további feldolgozása, az eredmények tárolása és megjelenítése. A Matlab, Pycharm, Visual Code szoftvercsomagok segítségével készített megoldásaim az eredmények felhasználói végberendezésen történő megjelenítését és magát a jelfeldolgozást teszik lehetővé.



2. ábra

4. Hardverkomponensek

4.1. Pulzoximéter

Mindkét kesztyű mutatóujjába egy-egy MAX30100 típusú, reflexiós elven működő, egyidejűleg kétféle IR hullámhosszon mérő, véroxigénszint-/pulzusszám mérő van bevarrva. A szenzor I²C protokollon (*SCL*, *SDA*, *VIN* vonalak, ill. *GND*) keresztül kommunikál jelen felhasználásban a Wemos D1 Mini Pro-val, mint master eszközzel.

Mivel a kesztyű kellően rá tudja szorítani az ujjat a szenzorra, és környezeti fény szűrésére is alkalmas, viszonylag pontos információk olvashatók ki belőle. Ezeket az adatokat egy, az orvosi gyakorlatban is felhasznált, ujjra csiptethető pulzoximéterrel is ellenőriztem egy-egy mérés során; szignifikáns eltérést nem találtam. Mindemellett ha az eszközön elmozdul az ujjunk mérés közben, akkor gyakran mérhetünk hibás, kiugró értékeket.

Ezt szoftveresen, szűrő/ átlagoló algoritmusokkal lehet kompenzálni. A szenzor 16 bites szigma-delta AD-átalakítót, beépített 50/60 Hz-es hálózati zajszűrőt tartalmaz. Emellett hőmérséklet-szenzor is van integrálva a csipbe, így az a bőrhőmérséklet mérésére is alkalmas. Adattárolása FIFO szervezésű, egyidejűleg 16 mérésről tud információt tárolni. A FIFO telítődése után a 0. pozíciótól elkezdi felülírni a korábbi méréseket. Az ebből eredő hibák kiküszöbölésére megfelelő időközönként ki kell olvasni annak tartalmát. Ehhez a típushoz implementált C++ függvénykönyvtár csak megfelelő kiolvasási sebesség mellett funkcionál megfelelően. Erről bővebben a szoftver részletezésénél lesz szó.

4.2. ADXL345 gyorsulásérzékelő

Háromtengelyű, mikromechanikai gyorsulásérzékelő, speciális, miniatűr (3 × 5 × 1 mm-es) plasztiktokban. A teljesírtményfelvétele is minimális. I²C vonalakon kommunikál a külvilággal, 10 bites adatokat szolgáltat. Számos beépített opcióval, szolgáltatással bír. A konkrét alkalmazásban egyrészt

lehetővé teszi az ujjak finomremegésének megfigyelését, másrészt elesés-detektáló funkcióval is rendelkezik (egy megszakítás (interrupt) érkezik elesés detektálásakor), harmadrészt pedig az aktivitás számolható általa: az x, y, z koordinátákból számított $|x^2+y^2+z^2|$ *összeg nem egyenlő a g vektor értékével, akkor ez azt jelenti, hogy mozgásban volt az eszköz viselője.*

4.3. BMP280 hőmérsékletszenzor

A Raynaud-jelenségnél egy meghatározó tényező a stressz-szint mellett a környezeti hőmérséklet is. Ezt egy BMP280 típusú hőmérsékletérzékelő modul segítségével mérem. Az eszköz szintén I^2C kommunikációs protokollt használ, így a pulzoximéter vonalaihoz (vezetékeihez) csatlakoztathatók ennek a modulnak a vonalai is. Az apró nyákra felépített szenzoráramkör kívül, a csuklónál helyezkedik el.

4.4. GSR szenzor – bőrimpedancia-mérés

A mérésre a kesztyű középső és gyűrűs ujjába varrt két kis Ag/AgCl elektróda, és a hozzájuk kapcsolódó, bőrimpedancia-változást érzékelő jelkondicionáló modul szolgál. Az elektródákat a belső kesztyűrész rászorítja a bőrfelületre. Ez tűnt a legpraktikusabb megoldásnak, mert így elkerülhető az elektródák csúszkálása. Az olcsó Grove-modulnál az elektródák között mérhető bőrellenállás egy kis panelre felépített, LM324-en alapuló egyszerű műszererősítő bemenetén kialakított mérőhíd egyik tagját képezi. A kimenet analóg feszültségjel. Ez az alrendszer a bőr vezetőképességét méri, amely a vegetatív idegrendszeri működéssel és az érzelmi állapottal hozható összefüggésbe, így stressz-szint becslésre alkalmas. A szenzor nagyon érzékeny, hiszen a bőr vezetőképessége csak µS-os tartományban változik. Ez a változás jól érzékelhető a tenyér felületén, vagy az ujjakon. Ezeken a területeken ui. 200-600 izzadságmirigy is található négyzetcentiméterenként.

4.5. Központi feldolgozó egység

A rendszer központi feldolgozó egysége a közkedvelt, olcsó, kis méretű (kb. 21×48 mm-es panelre felépített, 16 lábú) Wemos D1 mini Pro modul, amelynek központi IC-je az ESP8266 típusú, 32 bites processzormag köré integrált komplett WiFi-csip, számos portvonallal, PWM, I^2C stb. opcióval. A nyákon a WiFi-antennát is kialakították, de külső antennacsatlakoztatási lehetősége is van (itt nem használjuk ki). Az USB port illesztésére egy CH340C típusú tok szolgál. A központi csiphez egy 16 MiB-es soros flash memória (W25Q128FVSS) illeszkedik. A tokok névleges tápfeszültsége 3,3 V, amit egy külső Li-Ion akkumulátorról nyerünk. Az akkumulátort a TP4054 töltheti, az USB csatlakozón beküldött 5 V-ról. A perifériák számára a +5 V-ot az ME6211 alapú DC/DC konverter prezentálja. Mindkét tápfeszültséget kivezették. Az I^2C vonalak külön csatlakozón érhetők el.

A modul segítségével az adatokat felküldhetjük a feldolgozó egységhez, ami lehet akár egy felhőben futó alkalmazás, vagy egy Raspberry Pi-n futó szerver (NodeRED) is. Erről a szoftverek bemutatása fejezetben részletesen is szó lesz. Mindemellett lehetővé válik az andoridos készülékről való irányíthatóság is: akár telefonon keresztül is szabályozhatjuk a kesztyű fűtését, valós időben nézhetjük a mért értékekből kirajzolt grafikonok alakulását. Emellett a kesztyű egyik fontos funkciójában, az elesés-detektálás által kiváltott értesítés (e-mail üzenet) elküldésében is szerepet játszik a Wemos D1 Mini Pro, hiszen ez idézi elő (triggereli) az értesítés-küldését.

4.6. SPIFFS

A modul része; a 16 MiB-os flash memória alkalmas a mért értékek tárolására és megőrzésére. Így hálózati kapcsolat nélkül sem vesznek el az adatok, persze a tárolási kapacitás mértékén belül. Amennyiben rendelkezésre áll a vezeték nélküli hálózati kapcsolat, akkor a SPIFFS teljes tartalma feltöltődik a NodeRED szerverre MQTT protokoll segítségével.

Az adatok SPIFFS-ből történő kiolvasásának és a Raspberry-n futó InfluxDB-adatbázisba történő tárolásának menete a következő: első körben, egy flaggel (first_spiffs_read) jelzem, hogy a korábbi mért adatok, melyek már a SPIFFS-ben vannak tárolva, elmentésre kerültek-e, mielőtt egy újabb mérési folyamattal felülírnánk azokat. (Egész pontosan az első kiolvasás után a SPIFFS-t formázom, így helyet felszabadítva az újabb mérések adatainak.) Amennyiben van hálózati kapcsolatunk (jelen esetben WiFi), az adatok MQTT protokollon keresztül a Node-RED szerver megfelelő csomópontjaiba érkeznek meg JSON formátumban. Erre azért van szükség, mert így konzisztensen, meghatározott struktúrában tudom az adatokat továbbítani, és az adatbázis megfelelő tábláiban tárolni.

Már a SPIFFS-be írás során érdemes figyelni arra, hogy megfelelő formátumban kerüljenek eltárolásra a szenzorinformációk. Ezzel saját dolgunkat könnyítjük meg, hiszen a NodeRED-ben JSON formátumú stringeket egyszerűen tudunk kezelni. A parse-olás után az InfluxDB adatbázisba jutnak az egyes adatok. A szerver automatikusan végzi az adatbázis új tábláinak létrehozását és feltöltését, ezt külön manuálisan nem kell megtennünk. Ez abban az esetben működik így, ha a megfelelő topicon beérkezett MQTT üzenet JSON formátumú string-ként érkezett. A 'key-value' párok alapján a 'key' mező jelenti az adatbázis új oszlopait, és értékeit értelemszerűen a 'value' mező alapján tölti fel a rendszer.

Innen a Grafana segítségével tudjuk kiolvasni az adatbázis oszlopait, értékeit. A szerverekre történő adatküldés mellett UART-on is kiolvashatjuk a tárolt adatokat, melyeken ezután kényelmesen tudunk algoritmusokat futtatni. Ha nincs hálózati kapcsolatunk, akkor az InfluxDB-be történő mentés nem fog megvalósulni, ekkor csak UART-on tudjuk lementeni az adatokat.

4.7. OLED kijelző

A csak a jobbkezes kesztyűre felerősített egység feladata, hogy azonnali visszajelzést adjon a felhasználónak a legfontosabb mért paraméterekről, mint például véroxigén szint vagy a stressz-szint. Így könnyebben tudja figyelni a kesztyű viselője azt a folyamatot, amikor jelentkezik nála a Raynaud-szindróma. A felhasználó ennek segítségével jobban megismerheti (számszerűen is) azokat az értékeket, amelyek az adott körülmények között kiváltják a jelenséget. Ezáltal a későbbiekben egy pontosabb analízis alá lehet vetni mind a mért értékeket, mind pedig a felhasználó saját tapasztalatait. A kettő kombinációjából tehetünk szert olyan ismeretekre, amik egyébként rejtve maradnának: próbáljuk megfejteni, milyen hatások

(alacsony hőmérséklet, stresszes állapot, inaktivitás, stb.) indukálják a Raynaud-jelenséget.

Ehhez a mért adatokon túl szükség van a felhasználó visszajelzésére is. Ezt segíti a kijelző mellett elhelyezett két kis nyomógomb is, melyek segítségével visszajelzést adhat a felhasználó az állapotáról. Emellett a manuális fűtésszabályozás is ezeken keresztül történhet. A gombok is az I²C-n keresztül kommunikálnak az ESP8266-tal.

4.8. Fizikai felépítés

A kesztyűk a valóságban két rétegűek. A belső, kézre simuló részének ujjaiban vannak a már ismertetett módon a szenzorok, a mintegy 11 ohmos fűtőszál, meanderbe hajtogatva, a tenyérhez simuló zárt tasakba van bevarrva, a furatokkal ellátott szegélyű vezérlőnyák, rajta a kijelző egységgel is a belső kesztyűhöz van hozzávarrva. Utóbbi számára a külső kesztyűn egy ablakot alakítottam ki. Szintén a belső kesztyű csuklóhoz közeli részén van a Li-Ion akkumulátoregység. A kesztyűbe bevarrandó eszközöknél fontos szempont, hogy a lehető legkisebb méretűek legyenek. A szenzoroknál ez nem jelent gondot, viszont a WiFi-s kommunikációért felelős modul, a kiegészítő áramköri elemekkel és a kijelzővel együtt már nagyobb helyet foglal, így a kesztyű viselőjének kellemetlenséget okozna. Ezt elkerülendő, hétköznapi használatra alkalmas szenzorrendszer kialakítása a cél a kesztyűn belül. Az összeszerelés előtt álló prototípusról készült képeket a **3. ábra** mutatja.

5. A vezérlő áramkör
(4. ábra)

A vezérlő modult kiegészítő áramköri elemek néhány tranzisztort és ellenállást, valamint kivezetett csatlakozási pontokat jelentenek: a fűtésvezéréléséhez szükséges FET-eket (IRLML2502TRPBF) és ehhez tartozó 2 kohmos ellenállásokat, a fűtőszálak csatlakozási pontjait (*H1*, *H2*), valamint az I²C kivezetéseket. Ez utóbbi kivezetésből elsősorban a Wemos D1 Mini Pro hardveres I²C interfészét használtam fel (*HWI2C*), de gondolva a későbbi továbbfejlesztésre – a szenzorrendszer bővítésére – szoftveres I²C busz kialakítására is alkalmas vonalakat is kivezettem (*D3* és *D4* lábak az *SCL/SDA* vonalaknak; *SWI2C*). Emellett az alappanel eddig ki nem használt lábai (*D6*, *D7*, *D8*) is helyet kaptak az áramkör által biztosított kivezetések között, szintén a későbbi rendszerbővítést szem előtt tartva.

Az akkumulátor töltöttségét az *A0* analóg bemeneten keresztül figyelhetjük, a megfelelő R3 ellenállás beiktatásával, ami feszültségosztót képez az analóg bemenet belsőellenállásával. Ez csak a bal oldali kesztyűre vonatkozik; a jobb oldali *A0*-ra a bőrimpedancia-mérő (GSR) szenzor kimenete csatlakozik.

A fűtőszálakat tranzisztorok hajtják meg, amelyeket impulzusszélesség-modulációval (PWM) vezérel a rendszer. A kapcsolási rajzon két meghajtó áramkör látható, de egyelőre csak az egyikhez csatlakozik fűtőszál, a Drain és a +5 V közé (*H1* csatlakozó).

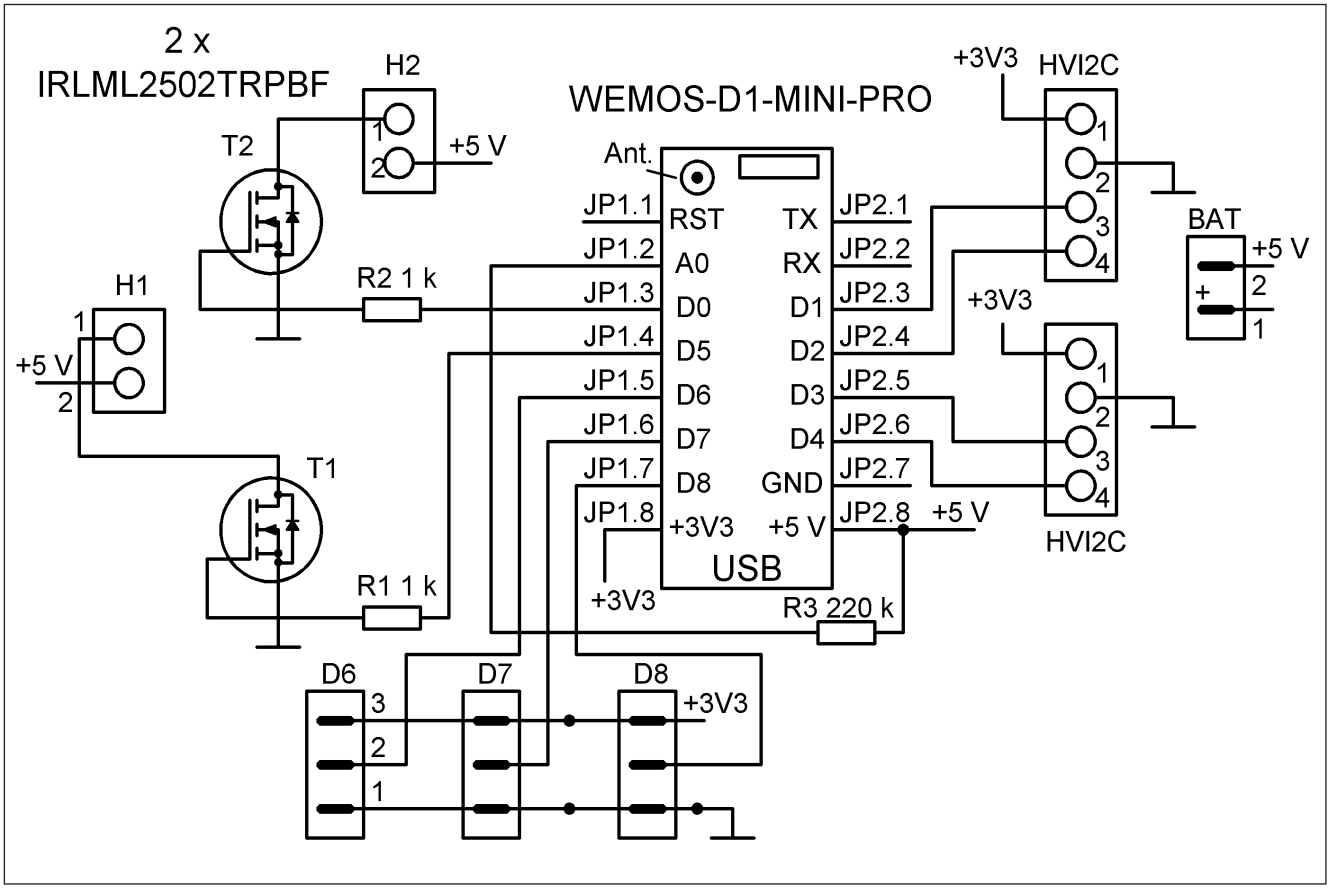
3. ábra

6. Az eszközhöz tartozó szoftver

A szoftver az **5. ábra** szerinti egyszerűsített terv alapján szerveződik. A szerver egy Raspberry Pi eszközön futó Node-RED nevezetű alkalmazás, amely összeköttetésben áll egy adatbázissal (InfluxDB). Ezt az adatbázist elérve a Grafana képes megjeleníteni a mért adatokat. Ennek menetéről a későbbiekben lesz szó. A Node-RED kezelő felületéhez, illetve a Grafana megjelenítő felületéhez okostelefonról is csatlakozhatunk, ezáltal lehetőség nyílik az eszközünk telefonról történő vezérlésére, valamint a mért adatok áttekintésére is.

A Visual Code platformon keresztül hozzáférhetünk a feldolgozó egységben tárolt mérési adatokhoz, UART-alapú kommunikáción keresztül. Az adatelemzés és kiértékelés nagy részét a PyChar fejlesztői környezetben végeztem, python-alapú könyvtárak felhasználásával. A Matlab további funkciókat biztosít mindezek bővítéséhez.

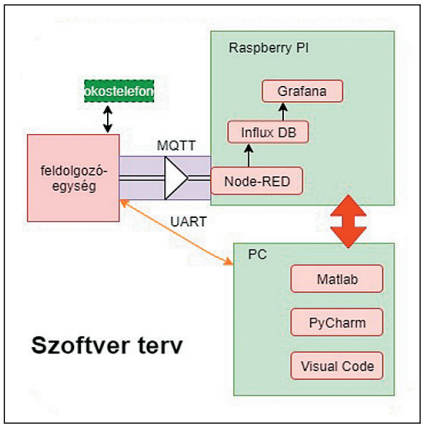
A kommunikáció folyamata a következő: a szenzorok által az emberi



4. ábra

perifériás területeken mért élettani paraméterek feldolgozásra kerülnek, majd MQTT protokollon keresztül továbbítódnak a szerver felé, amely tehát a Raspberry Pi-n futó NodeRED-et jelenti. Ez fogadja az adatokat, és további formázásokat végez rajta, így lehetővé válik az InfluxDB nevezetű adatbázisba menteni azokat. Innen tudja a Grafana szoftver kiolvasni az értékeket, és megjeleníteni azokat.

A Node-RED feladata, hogy fogadja a beérkező szenzorinformációkat. Ezt oly módon tudja megtenni, hogy MQTT kliensek a megadott témákra feliratkozva várják az adatokat az MQTT brókertől. A Node-RED egy webböngésző alapú szolgáltatás, amely grafikus felületével megkönnyíti a fejlesztési folyamatot. JavaScript nyelven lehet a beépített node-okon (csomópontokon) túl saját függvényeket is implementálni. Ezen függvények segítségével valósul meg a rendszerben az egyes szenzorinformációk konzisztens tárolása, feldolgozása és továbbítása.



5. ábra

A gyorsulásérzékelővel megvalósított elesés-detektáláshoz egy csomópont-struktúrát (flow) implementáltam. Ez figyelembe veszi azt is, hogy engedélyezte-e a felhasználó ezt az üzemmódot, illetve, hogy érkezett-e nyugtázás az elesés-detektálás után (ekkor nem küld e-mailes értesítőt a szerver). A konfiguráció során megadhatjuk, mekkora legyen az az időintervallum, amely után a vészhelyzetjelzést a rendszer elküldi. Ha a vészjelzésre okot adnak a körülmények (engedélyezett ez a funkció, és nem érkezett nyugtázás), akkor a megfelelő kommunikáció lebonyolításával (HTTP GET kérések által) a helykoordinátákat és az időpontot is lekérdezi a felhasználó telefonjáról, amely információk az elküldendő e-mail törzsébe is belekerülnek. A kimenetek összeköttetésben vannak az InfluxDB szerverrel, és ebből kiolvasva a Grafana nevezetű szoftver képes megjeleníteni az élettani paraméterek görbéit. Az „elesés figyelő” node aktív állapotú lesz (triggerelődik) abban a pillanatban, hogy érkezik az elesés figyelmeztetés. Azonban van lehetőség arra is, hogy egy nyugtázó gombbal a felhasználó megakadályozza az e-mailes értesítő elküldését. Erre beállítható időkorlátot adhatunk meg.

7. A mért adatok felhasználásának célja

A mért adatok alapján egy valószínűségi modellel, jelen alkalmazásban rejtett Markov-modellel elemzem az adatokat, és keresek összefüggéseket a mért élettani paraméterek között. A felvetődő kérdés: mikor, milyen körülmények között jelentkezik a Raynaud-jelenség (hidegben/melegben, stresszes/nyugodt állapotban, ak-

tív/passzív tevékenységet végezve)? Az algoritmus a mért paraméterek alapján tanul gépi tanulás módszerével, és egyre pontosabb válaszokat ad a fent említett kérdésekre. Általa személyre szabottan meg lehet állapítani azt a stressz-szintet, vagy hőmérsékletet, vagy akár a kettő kombinációját, ahol a szervezet eléri azt a „küszöbszintet", ahonnan beindul a kóros, túlzott érösszehúzódás.

8. Rejtett Markov Modell és a Raynaud-szindróma megfigyelése

A szenzorrendszer által monitorozott élettani paraméterek összefüggenek egymással bizonyos folyamatok együttes vizsgálatakor. A Raynaud-szindrómánál két kritikus tényező van a jelenség előfordulása szempontjából: a hőmérséklet és a stressz-szint. Egyrészt, egy bizonyos hőmérséklet alatt (súlyosabb esetben már szobahőmérséklet alatt!) *szinte biztos*, hogy jelentkezni fog a túlzott perifériás érösszeszűkülés. Másrészt, akár meleg környezetben is *jelentkezhet*, ha stressz éri a Raynaud-beteget. Sok függ tehát attól, hogy mekkora a stressz mértéke, és milyen környezeti hőmérséklet társul hozzá. A „*szinte biztos*" és „*jelentkezhet*" mértékét hivatott számszerűsíteni az eszköz. Ezt például valószínűségszámításon alapuló módszerekkel lehet megállapítani. Egy ilyen módszert, a rejtett Markov modellt és jelen projektbeli felhasználását mutatom be ebben a pontban.

Az algoritmus választásának alapja, hogy vannak megfigyelhető és nem megfigyelhető paramétereink (állapotaink). Jelen felhasználásban megfigyelhető paraméter minden, amit a beépített szenzorokkal mérni tudunk: pulzus, véroxigén-szint, bőrhőmérséklet, külső hőmérséklet, aktivitás és stressz-szint. A szenzorok által közvetlenül nem megfigyelhető állapot pedig az, hogy a Raynaud-jelenség éppen fennáll-e. Erre tudunk bizonyos valószínűséggel következtetni. Ezáltal egyénre szabottan ismerhetjük meg azt, hogy milyen gyakorisággal és súlyossággal jelentkeznek a tünetek, és ezek milyen körülmények között történnek meg. Az algoritmus annál pontosabb, minél több mérési adatot kap, minél „többet tud tanulni".

A rejtett Markov-modell (RMM) tehát egy valószínűségi változókon alapuló modell, amely alkalmas folyamatosan változó állapotok vizsgálatára a rejtett (nem megfigyelhető) állapotok segítségével. A megfigyelhető állapotokat a szenzorinformációkból származtathatjuk. A nem megfigyelhető – a szenzorok által közvetlenül nem mérhető – állapot pedig maga a Raynaud-jelenség.

Az RMM egy többváltozós modell, ahol az események (feltételes) függetlenségét kihasználva tudjuk számításainkat egyszerűsíteni. Erre azért is van szükség, mert különben túlzott méretű eloszlás-táblázatokat kellene felvennünk, ami a számítási kapacitást figyelembe véve nem kivitelezhető a később ismertetett tanulási folyamat szempontjából.

Az RMM-ben elvégezhető operációk közül jelen alkalmazásban a legfontosabbak egyike az előrejelzés (*prediciton*). Ez azt jelenti, hogy egy jövőbeni állapot eloszlását számítjuk ki az eddigi összes bizonyíték (mérési eredményekből kapott eloszlások) ismeretében. Ennek szerepe a Raynaud-betegségnél az, hogy a jelenség bekövetkeztét megelőzni szükséges, nem pedig „tünetileg kezelni". Gondoljunk itt arra a folyamatra, ami a bevezető részben került ismertetésre: sokkal nehezebb megszüntetni a tüneteket (fehér, lila, fekete ujjak, összeszűkült erek, drasztikusan csökkent véroxigén-szint), mintsem megelőzni azokat! Ez az előrejelzési módszer tehát alkalmas ennek a problémának a kiküszöbölésére. Minél több mérést végeztünk, annál pontosabban tudja „megjósolni" az algoritmus, hogy mikor, milyen körülmények között fog fellépni a Raynaud-jelenség. Ezt iteratívan, a tanulási folyamat során pontosítja a módszer. Minél több mérési eredményt kap, annál pontosabb becslést ad.

A másik ilyen fontos operáció az RMM-ben a „legvalószínűbb értelmezés" (*most likely explanation*), amely a megfigyelések egy sorozatának ismeretében azt az állapotsorozatot találja meg, ami a leginkább valószínű, hogy az adott megfigyeléseket generálta. Ezáltal a Raynaud-jelenség előzményeit (az azt megelőző állapotokat) ismerhetjük meg. Így személyre szabottan felállítható egy olyan paraméterhalmaz, amely tartalmazza azokat az értékeket, amelyek esetén az egyes betegeknél a jelenség be fog következni. Nagyon változó, hogy kinél milyen körülmények hatására, mekkora stresszre, vagy milyen hideg hőmérsékletre jelentkezik. Ezeket a körülményeket (állapotokat) tudjuk számszerűsíteni, valószínűségeket rendelni hozzájuk. Összefoglalva tehát, magát a Raynaud-jelenséget nem tudjuk mérni (megfigyelni), de a hozzá szorosan kapcsolódó élettani paraméterek alakulását igen, és ezekből következtethetünk a jelenség súlyosságára, gyakoriságára, és bekövetkezésének körülményeire (hidegben/melegben, aktív/passzív állapotban, stresszes/nyugodt állapotban, stb.) Maga a Raynaud-jelenség tehát a rejtett állapotunk az RMM-ben.

Vizsgálatom során összesen 16 állapotot vettem fel a mért paraméterek szerint. Az állapotok neveit a megfelelő paraméter angol nyelvű kezdőbetűiből származtatta,: **C** (cold), **W** (warm), **P** (passive), **A** (Active), **S** (Stressed), **R** (Relaxed), **L** (Low_SpO_2), **H** (High_SpO_2). Ezt az alapján választottam, hogy hideg, meleg, aktív, passzív, stresszes, nyugodt állapotról, valamint magas/alacsony oxigénellátottságról van-e szó. Később látni fogjuk, hogy ez utóbbi paraméter fogja jelenteni azt, hogy jelen van-e a Raynaud-jelenség (alacsony véroxigén-szint) vagy nincs (magas véroxigén-szint).

A vastagon szedett rövidítések tehát még nem az állapotokat jelentik, hanem az ezekből alkotott 16 elemű állapottér építőelemei. Az állapotok felvételére egy példa:
CSLA – **C**old, **S**tressed, **L**ow_SpO_2, **A**ctive (hideg környezet, stresszes állapot, alacsony vérixigén-szint, aktív állapot). A további állapotok ez alapján már értelmezhetők: ***CSLP***, ***CSHA***, ***CSHP***, ***CRLA***, ***CRLP***, ***CRHA***, ***CRHP***, ***WSLP***, ***WSHA***, ***WSHP***, ***WRLA***, ***WRLP***, ***WRHA***, ***WRHP***.

Megjegyzés: a modell létrehozásához és tanításához a pomegranate.py Python csomagot használtam.

Kódolástechnikai szempontból az állapotok felvételénél érdemes arra figyelni, hogy ha egyazon objektumként adjuk át a számított eloszlást (*IndependentComponentsDistribution()*) minden állapotnak, akkor ezek „összekötött" (angol terminológiával: *tied states*) állapotokat fognak eredményezni. Erre a függvénykönyvtárhoz tartozó dokumentációban is felhívják a fejlesztők figyelmét, hiszen ekkor teljesen más eredményt kapunk, mintha különálló Python objektumokkal inicializáljuk az állapotokat. Ebben az esetben tehát „összekötött"

állapotokkal (*tied states*) dolgozunk, hiszen ugyanazt a Python objektumot adtuk át a konstruktornak.

A már felépült modellünket úgy tudjuk tanítani (az állapotátmenetek valószínűségeit pontosítani), hogy megfelelő szekvenciájú állapotokat adunk meg a *model.fit()* tanító metódusnak. Ez a függvény paraméterlistájában várja az általunk választott tanító algoritmust (Viterbi, Baum-Welch), és a tanító szekvenciát is. Ez utóbbi első körben nem áll rendelkezésre, hiszen mi „csak" szenzoradatokat mérünk, nem pedig állapotokat. Ezeket az információkat kell lefordítani állapotokká. Ennek módszere, hogy meghatározott küszöbértékeket figyelembe véve eldöntjük, hogy az aktuális adat milyen állapotot felépítő egységnek felel meg. Emlékezzünk, az állapotot felépítő egységek: **C** (**c**old – alacsony környezeti hőmérséklet), **W** (**w**arm – magas környezeti hőmérséklet) stb. Az egységekből úgy épülnek fel az állapotok, hogy az egymást kizáróak kivételével mindegyiket kombináljuk. Egymást kizáró építőegységek a hideg-meleg, stresszes-nyugodt, aktív-passzív, alacsony véroxigén-szint – magas véroxigén-szint egységek.

A mért értékek állapotokká való konvertálása nem jelent mást, mint a 16 felvett állapot neveinek – a State() konstruktorban megadott 'name' paraméterek – előállítása. Ezt úgy tehetjük meg, hogy kijelölünk küszöbértékeket az állapotok-komplementer állapotok intervallumba sorolásához, szeparálásához. Például, ha a környezeti hőmérséklet kisebb, mint 20 fok, akkor az hideg (**C**) építőegységet, ha nagyobb, mint 20 fok, akkor meleg (**W**) építőegységet eredményez az állapot nevében (sztringjében). Ugyanígy, ha a véroxigén-szint (SpO_2) értéke 90%-nál kisebb, akkor az (**L**) értékre fordítódik, ha ennél nagyobb, akkor (**H**) értékre. Az aktivitásnál a korábban említett $|x^2+y^2+z^2|$ négyzetösszegből kiszámítjuk az eredő vektort az x/y/zGyro_value mért értékekből, majd ezt normalizálva, a 0-tól való eltérést figyeljük. Abszolút értékben 1-nél nagyobb eltérés aktivitást jelent (**A**), egyébként passzívat (**P**). Végezetül, a bőrimpedancia-mérés eredményét is két állapotba szeparáljuk: ha 350 nél kisebb az érték, akkor stresszes állapotról van szó (**S**), egyébként nyugodt (**R**) állapotról.

Ennek finomhangolására lehetőségünk van többféle módon is. Egyrészt hardveresen, a jelkondicionálón levő trimmerpotenciométerrel állíthatjuk az érzékenységet, ekkor természetesen más küszöbértéket kell megadnunk. Másrészt pedig, a későbbi fejezetben részletezendő kísérlet segítségével validálhatjuk, hogy milyen értéktől számít egy átlagember stresszesnek, vagy nyugodtnak. Ennek a validációs folyamatnak az eredményét felhasználva még pontosabb becsléseket adhatunk arra, hogy milyen körülmények között mekkora valószínűséggel fog jelentkezni a Raynaud-jelenség.

Miután az állapotok építőegységeit megismertük, tekintsük át, hogyan épül fel a 16 átmeneti állapot, melynek végén eljutunk a Raynaud-szindrómához. A végcél az, hogy megállapítsuk, hogy az egyes állapotok milyen hatással vannak a jelenség bekövetkeztére. Az építőegységekből úgy keletkeznek az állapotok – pontosabban az azokat reprezentáló sztringek –, hogy az intervallumba sorolás után a kapott kezdőbetűkből megkonstruáljuk azokat: például egy 19 fokos környezetben (**C** < 20 fok) történő mérés, melynél az alany stressz-szintje alacsony (**R**-relaxed, GSR értéke < 350), és passzív volt (**P**), valamint 88%-os véroxigén-szintet mértünk (**L**-low SpO_2, <90%), akkor a felépített rejtett Markov modellbeli állapot: **CRPL**.

Ezt minden mérési eredménynél lefuttatjuk, és megkapjuk az állapotszekvenciát, mellyel a már felépült kezdeti paraméterekkel rendelkező modellünket taníthatjuk. Minél több mérést végzünk, annál pontosabb eredményeket fog szolgáltatni a modell. A végcél pedig, hogy megállapítsuk, hogy milyen körülmények között, mekkora eséllyel fordul elő a Raynaud-jelenség. Minden állapotra kapunk egy valószínűséget, hogy az az adott állapot mennyire jellemzi a kesztyű viselőjét: például, ha valakinek hideg hatására gyakori a jelenség fennállása, akkor az eredmények között a **C** építőelemmel rendelkező állapotok súlya nagyobb lesz, mint a többié. Ugyanígy, akinél például meleg környezetben, de stresszes körülmények között jelentkezik a jelenség, annál a **W** és **L** építőelemeket tartalmazó állapotok súlya fog dominálni.

Az egész folyamatot úgy is felfoghatjuk, hogy a kesztyűk viselőjének mért élettani paraméterei alapján egyénre szabottan tudunk összefüggéseket feltárni arra vonatkozóan, hogy mennyire súlyos a Raynaud-szindrómája, milyen gyakorisággal jelentkezik. Összehasonlítva a bal és jobb oldali kézen mért véroxigén-szinteket, arra is következtethetünk, hogy elsődleges (primer) vagy másodlagos (szekunder) Raynaud-betegségről van-e szó. Erről a bevezetőben beszéltünk részletesebben. Emlékeztetőül annyit, hogy primer esetben maga a Raynaud-betegség az autoimmun folyamat a szervezetben, szekunder esetben pedig a betegség egy másik autoimmun betegségnek a „velejárója". Ezáltal akár egy autoimmun folyamat jelenléte a szervezetben annak korai szakaszában is észrevehető.

9. Eredmények

A korábbi fejezetekben ismertettem az élettani paraméterek mérési eljárásait, a hozzájuk tartozó szenzorok rövid bemutatásával, és az általuk mért értékek relevanciáját a vizsgált paraméterek szempontjából. Ebben a részben egy összefoglaló képet adok a mérésekről. Az átláthatóság érdekében minden mérési eredmény normalizálva van, így egyszerre vizsgálhatjuk azokat. Első körben célszerű vizuálisan elemezni az adatokat, és megkeresni az összefüggéseket a mért élettani paraméterek között. Egy jellemző példa: ha a gyorsulásérzékelő nem jelez aktivitást, akkor nagy valószínűséggel csökkeni fog a szívfrekvencia (*BPM – beats per minute*) értéke. Hideg hatására (*outer_temp jelöli a környezeti hőmérséklet alakulását*) pedig a véroxigén-szint csökkenése várható. Raynaud-betegnél végzett mérésnél ugyanez a jelenség figyelhető meg stressz-szint növekedés hatására is, hiszen a jelenség nem csupán hőmérséklet-, hanem stressz-szint függő is. A két paraméter egyszerre történő változása még drasztikusabb véroxigén-szint esést eredményezhet, ha például a stressz-szint emelkedése és a környezeti hőmérséklet csökkenése egyszerre van jelen. Ekkor lép fel a Raynaud-jelenség.

A méréseket különböző körülmények között végeztem: a vizsgálat szempontjából a legérdekesebb eset, amikor a külső hőmérséklet csökkenő, majd növekvő tendenciát mutat, azaz előidéződik a Raynaud-jelenség, majd enyhülnek, végül megszűnnek a tünetek. Ez azt jelenti, hogy a méréseket nyugalmi állapotból, szobahőmérsékletről indítom, majd alacsony környe-

zeti hőmérsékletnek kitéve a beteget (jelen esetben magamat), monitorozom a kesztyűkbe épített szenzorokkal, hogyan változnak a mért élettani paraméterek.

A felhasználó egy nyomógomb segítségével adhat visszajelzést arról, hogy mikor kezdi tapasztalni a változást az ujjainak keringésében. A változás kétféle irányba is történhet egy-egy mérés során: vagy normál állapotból haladunk a csökkenő perifériás keringés állapota felé – és így a véroxigén-szint és bőrhőmérséklet esése felé –, vagy a már jelen levő Raynaud-jelenség állapotából haladunk a normál állapot felé. Ez utóbbi esetet úgy próbálom mérés alatt elérni, hogy az alacsony hőmérsékletű környezetből legalább szobahőmérsékletű helyiségben folytatom tovább a mérést. (Az orvosi gyakorlatban többféle módszer is létezik, például hideg/fagyos vízbe mártják a beteg kezét, majd figyelik a perifériás ereinek erre a hatásra adott reakcióját, esetleges diszfunkcióját.) A fenti két eset megkülönböztetésére a felhasználó visszajelzésére is szükség van. Ennek megoldására a kesztyűbe varrt integrált áramkörön 2 nyomógomb is megtalálható: BTN1 (bal oldali nyomógomb az OLED kijelzőn) megnyomásával a felhasználó jelezheti, hogy éppen normál állapotból indulva kezdi el érezni a Raynaud-betegség tüneteit a hideg környezeti hatásnak kitéve, vagy a BTN2 gomb benyomásával (jobb oldali nyomógomb az OLED kijelzőn) épp ellenkezőleg: Raynaud-jelenségből indulva tapasztalja, hogy az ujjainak keringése elkezd visszaállni a normál, egészséges állapotba.

A fenti két eset jól megkülönböztethető és érzékelhető egy Raynaud-beteg által (ezt saját tapasztalataimmal is alátámaszthatom). Az élettani paraméterek monitorozásának célja éppen az, hogy ezeket a változásokat hamarabb észleljem, mint maga a beteg. Ilyen szempontból szerencsés helyzetnek mondható, hogy ebben a betegségben én is szenvedek, így magamon végezhetek méréseket az eszköz és az algoritmusok fejlesztése során.

A későbbiekben etikai engedéllyel más Raynaud-betegeken is mérhetek a kesztyűkkel. Ehhez kapok jelenleg is támogatást a Semmelweis Egyetem Bőr-, Nemikórtani és Bőronkológiai Klinikájáról. Az etikai engedély elbírálása folyamatban van, a prototípus továbbfejlesztésével párhuzamosan legalább 15-20 betegen tervezünk méréseket végezni, hogy az eredményeket igazolni tudjuk nagyobb esetszámon is.

Továbbá, ahogy a bevezető részben említésre került: a Raynaud-jelenség nem pusztán a külső hőmérséklet függvényében jelentkezhet, vagy enyhülhet, hanem a beteg aktuális stressz-állapota is nagyban befolyásolja a jelenség súlyosságát. Így tehát, az eredmények kiértékelésekor célszerű figyelembe venni a grafikonokon a „gombnyomások" környezetében a stressz-szint (GSR érték) alakulását is. Jelenleg, a prototípusban még nem működik megfelelően, legalábbis nincs megfelelően kalibrálva a bőrimpedancia-mérő. Ez a prototípus továbbfejlesztésének egyik fő feladata lesz.

Ezen paraméterek a korábban részletezett okok miatt szoros összefüggésben állnak Raynaud-szindróma fennállása esetén is: legfőbb mutató a véroxigén-szint, melyből látni lehet, ha a kesztyű viselőjének kórosan csökkent oxigéntelítettség lépett fel az ujjain. Ez együtt jár a bőrhőmérséklet csökkenésével, a perifériás keringés alulműködése miatt. Másik fontos paraméter a környezeti hőmérséklet, melynek csökkenése – akár már szobahőmérséklet alatt néhány fokkal – szintén előidézi a betegség tüneteit.

Emellett a stressz-szint is számottevő hatással bír a jelenség kialakulásában. Ezzel korrelál a szívfrekvencia is. Az aktivitás értéke pedig kiegészítő információt szolgáltat mind a kesztyű fűtésének szabályozásában, mind pedig az utólagos adatelemzésben. Egyrészt, a keringés vizsgálatakor figyelembe kell venni azt is, hogy éppen nyugalmi vagy aktív állapotban volt az alany. Másrészt, ha aktivitást érzékelünk, akkor a mért értékeket fokozott körültekintéssel kell kiértékelni, ugyanis ekkor a szenzorok elmozdulásából fakadó kiugró értékeket kaphatunk.

A modell állapot-átmenet valószínűség értékei jelentik a megfigyelések számszerűsítését. Ezek az értékek megmutatják, hogy az egyes állapotokból mekkora valószínűséggel lépünk át másik állapotba. Jelen esetben az állapotok konkrét mérési értékek által definiáltak. Így tehát képet kapunk arról, hogy milyen körülmények között, milyen gyakorisággal és súlyossággal fordul elő a Raynaud-jelenség az egyes betegeknél egyénre szabottan. Ha például valakinél a véroxigén-szint nagymértékben lecsökken a 99%-os normál értékről, akkor érdemes megvizsgálni, hogy mi váltotta ki a jelenséget: a környezeti hőmérséklet csökkenése, vagy a stressz-szint megemelkedése, esetleg mindkettő egyszerre egyszerre állt-e fenn. Ezután ebből az állapotból megvizsgálni, hogy mekkora a többi állapotba való átmenet valószínűsége. Ezáltal arra következtethetünk, hogy milyen körülmények okozták a jelenség megszűnését, amikor a véroxigén-szint ismét a normál értékhez közelít. Végigkövethetjük az állapotátmenetek mentén, hogy a vizsgált élettani paraméterek hogyan változnak, és azok hogyan befolyásolták a betegség tüneteit.

A fent ismertetett módszerhez az alábbi információk állnak rendelkezésre: egy gráf, amely az egyes állapotokat tartalmazza, és az állapot-átmeneti mátrix, amely segítségével számszerűsíthetjük, hogy az egyes körülmények között fellépő állapotokból mekkora valószínűséggel jutunk másik állapotba, ahol a környezeti és/vagy élettani paraméterek is megváltoztak. Mindezek szemléltetésére a *Python matlplotlib* package segítségével egy gráfot rajzoltatok ki, melyek állapot átmenet valószínűségeit megkapjuk a modell paramétereinek lekérdezése segítségével.

Bármely állapotból bármely állapotba eljuthatunk, tehát egy teljes gráfról van szó. Fontos jelentősége van annak, hogy mekkora ezeknek az éleknek a súlya – azaz mekkorák az állapot átmeneti mátrixértékei. Természetesen minél több mérési eredménnyel építjük fel a kezdeti modellt, annál pontosabb átmeneteket kapunk már tanítás nélkül is. Ezután a tanulási folyamat során pontosíthatjuk ezeket az átmeneteket. Ezt úgy értelmezhetjük tehát, hogy kiindulási állapotként melegben (***W***), stresszes állapotban (**S**), alacsony véroxigén-szinttel (**L**), passzív állapotban vagyunk (**P**). Annak a valószínűsége, hogy ezután olyan állapotba – olyan körülmények közé – kerülünk, ahol hideg van (**C**), továbbra is stresszes az állapot (**S**), mégis megfelelő szintű véroxigén ellátottságunk van (**H**), és egyébként aktivitásunk növekedett (**A**): 0,0616.

Első lépésként tehát minden állapotból vizsgálhatjuk az átmeneteket minden másik állapotba. Ezután, a tanítás után egyre inkább látni fogjuk, melyek azok az átmenetek, ahol kisebb

vagy nagyobb a valószínűsége a váltásnak. Ezáltal az irreleváns átmeneteket figyelmen kívül hagyhatjuk, és a nagyobb valószínűséggel rendelkezők esetében vizsgálódhatunk tovább jobban kitérve a részletekre, ezáltal képet kapva arról, hogy milyen körülmények indukálhatták a jelenséget, és milyen körülmények hatására szűnt meg. Mindemellett az időbélyeg támpontot nyújt abban is, hogy mennyi időre volt szüksége a keringésnek, amíg normalizálódott.

Ahogyan már korábban leírtam, minden állapothoz egy-egy valószínűség rendelhető. Minden állapotban szerepel vagy az **L** vagy a **H** építőelem. Az előbbi jelzés azt fejezi ki tehát, hogy jelen van a Raynaud-jelenség, utóbbi esetben pedig nincs. Az állapot többi építőelemei pedig a különböző élettani és környezeti paraméterre utalnak.

Ezekből azt tudjuk kiolvasni, hogy milyen körülmények között, milyen intenzitással és mekkora valószínűséggel jelentkezik a Rayanaud-jelenség. Ez egyénenként eltérő. Mindenkinek az aktuális stressz állapotától, keringési rendszerének állapotától, a hőmérséklettől, és más befolyásoló tényezőtől is függhet, legfőképp attól, hogy elsődleges, vagy másodlagos Raynaud-ról van-e szó. Sokféle mechanizmus áll a háttérben: a biokémiai folyamatoktól kezdve az erek károsodott sejtfalain át, az autoimmun betegségek okozta antitestek jelenlétéig és különféle befolyásoló tényezőkig.

Hasznos információként szolgálhat az aktivitás figyelemmel követése is. Némely esetben a vérkeringés beindítása testmozgással nagyban hozzájárul a perifériás erek visszatágulásához, így az **A** (aktív) értéket tartalmazó állapotok felé irányuló átmeneti valószínűségek nagyobb értékeket mutathatnak. Mindez feltételes szóhasználatban, mert súlyosabb esetekben a vérkeringés ily módon történő fokozása sem elegendő a tünetek csökkentéséhez. Ha valakinél érzelmi stressz hatására jelentkezik a fokozott érösszehúzódás, akkor a testmozgás nem sokat segít. Ekkor kisebb valószínűséggel fog egy passzív (**P**), alacsony véroxigén-szinttel (**L**) rendelkező, stresszes (**S**) állapotból olyan állapotba váltani a modell, ahol a paraméterek alakulása **A** és **H**, ami tehát azt jelenti, hogy aktivitás hatására elmúlt a Raynaud-jelenség.

Egy másik példa egy ellenkező esetre: ha valakinél a környezeti hőmérséklet csökkenése okozza a véroxigén-szint esést, és így a Raynuad-jelenség előfordulását, akkor ebben az esetben a stressz-szint változása nem fog nagy valószínűségű átmeneteket eredményezni. Legvégül pedig, ha valamely esetben mind a hideg, mind pedig a stressz is közrejátszik a tünetek jelentkezésében, akkor ezek egyszerre történő megszűnésekor (hőmérséklet emelkedése, stressz szint csökkenése) olyan állapotokba történő váltás a legvalószínűbb, ahol ezek az értékek vannak jelen.

Ezekre különböző orvosi vizsgálatok során derülhet fény. Például kapillármikroszkópiás vizsgálattal megállapítható, hogy az ujjbegyeknél milyen állapotban vannak a perifériás erek. Immunológiai vizsgálat során az antitestek kimutatása jelenti a diagnózist. Más autoimmun betegségekkel rendelkezőknél is hasonló a helyzet, de ott a Raynaud-szindróma, mint mellékhatás van jelen. Nehéz tehát eldönteni, milyen mechanizmus és biokémiai reakció zajlik a szervezetben, miközben jelentkezik a jelenség.

Ezen nehéz döntési helyzeten hivatott segíteni a mért értékekből kiolvasandó valószínűségi értékek. Segítségükkel pontosabb képet kaphatunk arról, hogy milyen tényezők idézték elő a Raynaud-jelenséget. Így konkrétabb, egyénre szabott vizsgálatok sorozatát kezdeményezhetjük. Ezzel talán könnyebben lehet a megfelelő úton elindulni, és kevesebbszer „mellélőni", felesleges vizsgálatokat elvégezni, kizárni egyes folyamatok jelenlétét.

Jellemző példaként: egy elsődleges Raynaud-betegséggel rendelkező páciensnél a jelenség szimmetrikusan hat, mindkét kézen egyszerre, ugyanazon az ujjakon jön elő, ugyanolyan (vagy legalábbis hasonló) mértékben. Ezzel annak az esélye, hogy más autoimmun betegség áll a háttérben, rögtön csökken, és a megfelelő úton indulhatunk el a további vizsgálódásban, nem futunk egyből vakvágányra. Ugyanígy, egy másodlagos Raynaud-betegnél a támadások erősen aszimmetrikus volta miatt egyből gyanakodhatunk autoimmun folyamatokra a háttérben. Így például egy immunológiai vizsgálat indokolttá válhat. Egyszóval, az eszköz által mért adatok és az ezekből kinyert információk támogatják a döntéshozatalt, vagy a további vizsgálatokhoz információkat biztosít.

Az eszköz tehát jelen alkalmazásban a Raynaud-szindróma tüneteit vizsgálja: annak gyakoriságát és súlyosságát, valamint az azt kiváltó és megszüntető tényezőket. Emellett az előző fejezetekben ismertetett eljárással további összefüggéseket tárhatunk fel az egyes élettani paraméterek között. Ebben van segítségünkre a valószínűségszámításon alapuló modellünk is, amely annál pontosabb átmeneti értékeket szolgáltat egyik állapotból a másikban, minél több adattal tanítjuk azt.

10. Összefoglalás

A célkitűzések megvalósításához elkészült hardver tehát egy kesztyűpárba varrt szenzorrendszer: pulzoximéter/bőrfelület-hőmérő, gyorsulásérzékelő, bőrimpedancia mérő, hőmérséklet-szenzor. A mikroprocesszoros rendszerrel való összeköttetés és a fűtésszabályozás érdekében ezek egy nyákra kerültek, és a kis nyákokra telepített szenzorokkal I^2C-s interfészen kommunikálnak. A jelfeldolgozás már a mikroprocesszoron megtörténik: a nyers jelen szűréseket végzek, és ezekből számolom az adott paramétereket, mint például a pulzus, véroxigén-szint, aktivitás, stressz-szint stb. Mindezek egy adatbázisban is tárolódnak, majd az egységes és átlátható megjelenítés érdekében a Grafana a Raspberry Pi szerveren futó grafikus felületen is vizsgálhatjuk a paramétereket. Az összefüggések megtalálását gépi tanuló algoritmussal támogatom. Az algoritmus annál pontosabb eredményeket szolgáltat, minél több adattal tanítom. Az eredményekben látható, hogy az elmozdulásból vagy a környezeti hatásokból, körülményekből adódó zajok meghamisíthatják a méréseket. Ezeket az adatokat kellő körültekintéssel kell vizsgálni. A jelfeldolgozó algoritmusok ezeken a hibákon hivatottak javítani, a lehető leghitelesebb kiértékelést lehetővé téve.

Általánosított célom a projekttel egy modern szemléletmódú betegkövetésre alkalmas orvostechnikai eszköz és a hozzá tartozó platform implementálása. Ennek alapjait a projekt által sikerült lefektetni, erre lehet építkezni a jövőbeni továbbfejlesztés során. A kiindulási problémát pedig – a Raynaud-jelenség tüneti kezelését a beteg aktuális állapota alapján – akár jelenlegi állapotában is megoldja az eszköz.

A méter-sztori III.

Pálinkás Tibor gépészmérnök, tpalinkas@radiovilag.hu

A régi korok országonként, sőt, tartományonként különböző és többnyire önmagában sem egységes mértékrendszereitől a tizenegyedik CGPM 1960-ban foganatosított forradalmi dötéséig, az SI (Systéme International d'Unités) bevezetéséig rögös út vezetett. Igaz, a méter az ezt megelőző, többé-kevésbé koherens mértékrendszereknek, az MKS-nek, ill. az MKSA-nak is alapegysége volt. A következőkben az SI hét alapegysége közül a hosszúság mértékegységének a történetét foglaljuk össze; mind közül éppen ezé a legkalandosabb. Mi magyarok büszkék lehetünk arra, hogy a modern méter megszületésénél bábáskodtak magyar tudósok, és a legmodernebb elven alapuló méterdefiníció is egy híres hazánkfiától, Bay Zoltán*tól származik. Éppen ezért cikkünkben a méter hazai történetéről is részletesen esik szó. Jelen írásunk az [1]-ben megjelent rövidke cikkem alaposan kibővített változata, sőt, a [2]-ben hasonló címen megjelent publikációmnak is egy átdolgozott kiadása. A címet követő sorszám ez után nem szorul magyarázatra.*

1. Előzmények

A kézműipar fejlődése, a kialakulófélben levő egységes nemzetközi piac, majd az ipari forrdalom kényszerítő erővel hatott egy egységes mértékrendszer kidolgozására. Sok tudós fáradozott azon, hogy a hosszúság egysége ne például az uralkodó valamely testrészének a mérete (láb, arasz, hüvelyk), hanem végül egy laboratóriumi körülmények között bárhol lszármaztatható természeti állandó legyen.

Talán az első erre vonatkozó indítványt *Huygens*, a használható ingaóra megalkotója tette: 1664-ben a másodpercinga hosszát javasolta a hosszmérés egységéül. Bár javaslatát később többször módosította, ötletét nem hasznosították. Ezzel a javaslattal aztán többen is előálltak, pl. *Jean Picard* és *Ole Rømer*, később a Francia Nemzetgyűlés előtt *Talleyrand* is. *Richer* francia csillagász mutatta ki, hogy az inga északi és déli országokban másképpen leng, mint az Egyenlítőn. Ma úgy mondjuk, hogy a Föld különböző pontjain a nehézségi gyorsulás állandója más és más. Érdekes, hogy ezen javaslatokban megtalálható a jelenleg érvényben levő meghatározás csírája: *a hosszúságegységet az időmérésre próbálja visszavezetni!*

Az mindenesetre megállapítható, hogy bár az alapmértékeket önkényesen választhatjuk meg, egy mértékegység kialakulásakor mindig két, egymásnak ellentmondó feltétel ütközik:

– a mértékegység akkor jó, ha mindig könnyen hozzáférhető és kezelhető (pl. láb),

– a mértékegység természeti állandó legyen (már Huygens javaslata is erre irányult). Az ilyenen alapuló etalon viszont csak különleges körülmények között, speciális felszereléssel és speciális szakértelem birtokában kezelhető.

Az 1860-as években Bécs vissza akart térni a gondolathoz, és az új, egységes tizedes hosszmérték alapjául a másodpercinga Bécsben mért hosszát kívánták megállapítani. Természetesen csak valódi fizikai inga jöhetett volna szóba, így a hosszúságegység ilyen definíciójához hozzá kellett volna rendelni egy nagyon pontosan definiált, „szabványosított" mérőingát is.

Eötvös Loránd már 1891-ben elkészítette első *torziós* ingáját, amivel a helyi nehézségi gyorsulást minden addigi módszernél pontosabban lehetett megmérni. *Oltay Károly*, később legendás műegyetemi geodézia professzor, még 1908-tól több alkalommal viszont egy speciális, vákuumban szabadon lengő „hagyományos" ingapárral határozta meg az ország néhány pontján, így Budapesten is a *g* értékét. A méréseket Eötvös felkérésére végezte el. A Sterneck-féle kettős ingával végrehajtott mérések pontos körülményeit, eredményeit az *A nehézségigyorsulás budapesti értékének meghatározása* c. művében (Saját kiadás, 1917) ismerteti. Később visszatér a témára (*Relatív gravitáció-mérés invariábilis ingákkal*, 1944). Ma a nehézségi gyorsulást többnyire az Eötvös-ingánál érzéketlenebb, de könnyebben kezelhető, lényegesen gyorsabban beálló graviméterekkel mérik.

A Föld méretén alapuló hosszmérték gondolatát már a XVIII. században felvetette *Nicolas Louis de Lacaille* és *Jacques Cassini* francia csillagász, és neki is kezdtek a méréseknek.

Ezen az ötleten alapult *G. Mouton*, szintén francia csillagász javaslata is. Ő a délkör egy fokpercének hosszán alapuló tizedes mértékrendszert vezetett volna be. A Francia Tudományos Akadémia 1736-ban kiküldött egy kutatócsoportot a Föld délkörének megmérése, a „*Cassini és Newton közt a Föld alakja fölött kitört véleménykülönbség eldöntése végett*" (idézet *Kruspér István*tól). A mérés Peruban és a Lappföldön történt. A kutatócsoportok ideiglenes hosszmértéke egy-egy acélból készült, speciális kialakítású véglapos etalonpár volt, amelyek egy korábbi francia alaphosszmérték, a Toise du Châtelet alapján készültek. A keresztmetszetük kb. 10×40 mm, az általuk megtestesített hossz 864 párizsi vonal (2 francia öl, kb. 1,949 m) volt. A normáliákat elkészítőjükről Langlois-féle ideiglenes mértéknormáliának is nevezték. Ezen különleges kivitelű, két, illeszkedő darabból álló hosszmértékek elődjeinek története önmagában is regényes, a kutatócsoportok napjai sem teltek éppen eseménytelenül, de most nem térünk ki ezekre. A Lappföldön használt etalon (Toise du Nord) hajótörés következtében eltűnt, a másik (Toise du Pèrou) azonban visszakerült Franciaországba. Egy, az említettekhez hasonló etalonpár egyik végéről készült felvételt mutatunk be az **1. ábrán**. Az eredeti Toise du Pèrou jelenleg a Observatoire de Paris-ban található. 1776-ban XV. Lajos jóváhagyásával a Toise du Pèrou alapján 80 db másolatot készítettek, ezek elnevezése: Toise du l'Académie.

1. ábra. Egy Toise du Pèrouhoz hasonló, egymásba illeszkedő etalonpár végkialakítása

Az így kapott eredményt sem hasznosították, talán azért, mert az egyes mérések eredményeképpen kapott ívhosszak között jelentős eltérések voltak. Annyi tudományos haszna mindenesetre volt ezeknek a méréseknek, hogy egyértelműen bebizonyították a Föld lapult, geoid voltát. Jóval később, 1816 és 1855 között mások még egy felmérést végeztek, amelyeknek célja már kizárólag a Föld lapultságának meghatározása volt. (Ez volt a Struve földmérő vonal, az észtországi Tartun átmenő délkörön.)

További ötletek is felvetődtek a Föld geometriai méreteiből levezethető hosszmértékre. Például voltak, akik az Egyenlítő egy kiválasztott szakaszának a hosszából származtatták vona le a métert, de ezt és a hasonló ötleteket mérési nehézségek miatt vetették el.

Idézzünk fel néhány epizódot a Föld méretéről alkotott tudományos kép történetéből!

Az ókorban tökéletes gömbnek tekintett Földünk méreteinek elsőként számon tartott meghatározása időszámításunk kezdete előtti 250-ben történt, és az alexandriai könyvtár vezetőjének, *Eratoszthenész*nek a nevéhez fűződik. Az általa feltalált módszer igazi lángészre vall. Az Alexandriában és Szienában végzett megfigyelései alapján, itt nem részletezendő, ám rendkívül egyszerű módszerrel megállapította, hogy a Föld kerülete mai mértékegységgel kifejezve 46248 km. Döbbenetes eredmény, tekintve, hogy a két település távolságát csak durván lehetett megsaccolni.

Fernel 1550-ből közvetlen méréssel (kerékfordulat-számlálós mérőkocsival) megmérte a délkör Párizs és Amiens közötti szakaszát, és kiváló eredményt kapott. A mérést 1615-ben *Snellius* már geodéziai háromszögeléssel végezte, de nagy hibával terhelt eredményre jutott. (Bár őt tartják hivatalosan a geodéziai háromszögelés feltalálójának, már az ókorból is ismeretesek hasonló elvű mérésekre utaló adatok.)

Pickard az 1660-as években már távcsöves teodolittal végezte a háromszögelést, kiváló végeredménnyel. Tulajdonképpen ezek az eredmények állították helyre Newton megingott önbizalmát, és végre nyilvánosságra hozhatta a tömegvonzás négyzetes törvényét.

Lacaille és *Cassini* 1718-ban fejezte be franciaországi délkörmérését. Közben Newton kimutatta, hogy a Földnek lpultnak kell lennie. Elméletét a Jupiter távcsöves megfigyelése is igazolta, ui. az is szemmel láthatóan lapult volt.

Az idő tájt és később is többen, több délkörmérést végeztek, melyek célja a tudományos kíváncsiságon túl az országok háromszögelési hálózatának összekapcsolása, a térképek pontosítása volt.

2. Az első méteretalonok, a „párizsi ősméter”

A francia nemzetgyűlés csak 1790-ben, *Talleyrand* ajánlatára foglalkozott újra a kérdéssel. A március 8-i határozatában az angolokkal együttműködve szeretett volna megoldásra jutni, de azok erre nem mutattak készséget.

Végül az 1791. március 26-ra összehívott Nemzetgyűlés elrendelte a francia Akadémia által javasolt mérés elvégzését, ami a Föld délkörének negyvenmilliomod részeként meghatározott hosszúságú új alapegység, a méter kimérését célozta meg. (A „*méter*” a görög „*metron*” szóból ered és mértéket, távolságot jelent. Az új decimális hosszegység elnevezését később gyakorlatilag a világon mindenhol elfogadták, erről nem folytak viták. Végül is beláthatjuk: a Föld méretéből származtatott hosszmérték-etalon politikailag teljesen semleges, ugyanígy a „méter” megnevezés is, ezért mindkettő a tudósok nagyon józan világlátását dicséri.)

Hogy miért éppen ekkora méterben állapodtak meg? Nyilván hasonló alapmértéket szerettek volna kapni, mint meglevő, az európai ember számára megszokott mértékek. A francia öl, a „toise” kb. 0,975 m volt. A mai angol yard nagyjából 0,914 m. A többször emlegetett másodpercinga – azaz egy fél-lengést 1 s alatt végző matematikai inga – hossza Európában 0,993 m. Az európai ember valamiért szereti az 1 m körüli hosszúságegységet, bár számos ellenpélda is akad más kultúrákból. A másik szempont talán az volt, hogy a délkör hossza/m hányados valamiféle könnyen megjegyezhető, „kerek” szám legyen, így adódhatott az 1:40 000 000 arány. („Még kerekebb” arányként is felfoghatjuk: a délkör Északi-sark és az Egyenlítő között mérhető szakaszának 1:10 000 000 része.)

De honnan e vonzódás a méter körüli hosszegységekhez? A neten kutakodva erre a kérdésre csak meglehetősen misztikus, sőt számmisztikával vegyített magyarázatokra leltem, igaz, ilyenek akadnak bőségesen. Az egyik érdekes teóriával Borbola János áll elő a tanulmányaiban, amelyek a magyar királyi korona méreteiből, a rajta található egyes szimbólumokról – melyeket a szerző egyiptomi hieroglifaként deklarál –, a szerinte 31,5 vagy 31,6 cm-es láb, mint ősi mértékegység átmérőjének megfelelő kör kerületéből stb. vonja le a következtetéseit, amelyek alapján a méterhez közeli mérték az ókorból eredeztethető. Az egyik cikkében „A Szent Korona és a méter”-ben.
(http://epa.oszk.hu/02300/02387/00014/pdf/%C5%90si%20Gy%C3%B6k%C3%A9r_2009_4_002-035.pdf)
például erre a következtetésre jut: *„A Szent Korona alapmértékét képező abüdoszi kettős láb metrikus egységekben mért és egyiptomi hieroglifákkal írt nagysága a pártázat alakos elemein félreérthetetlenül olvasható. A Szent Korona és a méter közötti összefüggés közvetlen bizonyítását ezzel befejezetnek tekinthetjük.”*

Vagy így van, vagy nem, lelke rajta... A pártázaton tényleg láthatók a más „koronairodalomban” hegyként v. dombként definiált díszítőelemek, amelyek akár a 10-es szám hieroglifikus jeleiként is felfoghatók. Ez azért is érdekes, mert Csomor Lajos, aki műveiben többek között rendkívül részletesen leírja a Korona szerkezeti felépítését, elkészítésének technológiáját, szimbólumrendszerét, csak érintőlegesen tárgyalja a pártázat díszítőelemeit. Azt viszont több helyen hangsúlyozza, hogy a műtárgy minden mérete egyértelműen az ősi hüvelyk-rendszert tükrözi…

Az általuk leírtakkal kapcsolatban nem tudok, nem is kívánok állást foglalni, csupán egyetlen aggályomat fejezem ki. Míg az újkori méterdefiníciók között mikrométeres eltérések lehetnek, addig ha a fentiek alapján a 31,6 cm-es lábátmérővel számoljuk is a kör kerületét, az kb. 99,274 cm-re adódik. Bár közelebb van a mai méterhez, mint pl. a yard és a többi említett egység, de mégsem tekinthető egyenlőnek az újkori méterrel, még mindig több, mint 7 mm az eltérés! Igaz, lényegesen jobb eredményt kapunk az egykori „egyiptomi PI”-vel, azaz $\sqrt{10} \cong 3{,}16$-tal történő szorzással; ez szerint 999,3 mm-re jön ki a kör kerülete. A szerző nem említi, hogy a $\sqrt{10}$-nél jobban közelíti a π-t a szintén az ókorban

2. ábra. Jean Baptiste Joseph Delambre (baloldalt) és Pierre François André Méchain

kedvelt 22/7 ≅ 3,1426 arány, amit a szerszámgépiparban máig használnak, mint kerékfogszám-arányt. Ezzel viszont valamivel rosszabb érték (993,14 mm) adódott volna.

A mérés elméleti és gyakorlati megtervezésére *Borda* vezetésével bizottság alakult, melynek olyan nagynevű tudósok voltak a tagjai, mint pl. *Condorcet, Lagrange, Laplace, Monge*. Igazán illusztris társaság!

Az első elképzelések között szerepelt a Dunkerque – Perpignan közötti ívszakasz (az ún. Lacaille-Cassini ív) újra mérése, ám végül az Akadémia úgy határozott, hogy a tényleges mérést a párizsi csillagvizsgálón áthaladó délkörnek (mai mérések alapján 2° 20' 14,025" E) egy közel tíz szögfoknyi szakaszán végzik el.

A mai, Greenwich-en áthaladó kezdő délkört az 1884-ben Washingtonban megtartott Nemzetközi Meridián Konferencián fogadták el. Addig sok délkört tekintettek vonatkoztatási hosszúságnak, köztük a párizsit is.

A nemzetközi kereskedelem és áruszállítás körülményeit a fejlődés akkori állapotában nem csak a mértékegységek

3. ábra. A Párizson áthaladó délkör megmért szakaszának térképvázlata

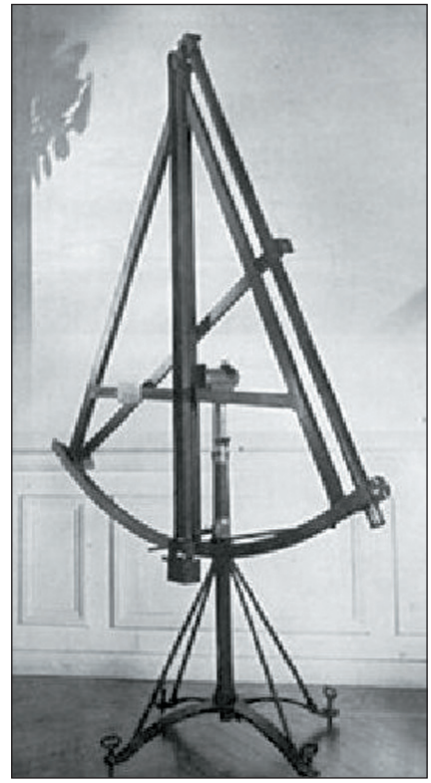
különbözősége nehezítette, hanem a térképek vonatkoztatási adatainak jelentős eltérése. Ezért csaknem egyidejűleg kötötték meg a nemzetközi kezdőmeridiánra vonatkozó egyezményt, a Nemzetközi Méteregyezményt és a egyezményes koordinált világidőre vonatkozó egyezményt is. (Amely alapján a vonatkoztatási időpont a Greenwich-i idő, a GMT.)

A mérésre a délkörnek a Dunkerque és a barcelonai Montjuic dombon levő erőd (Castillo de Montjuic, ma kedvelt turisztikai célpont) közötti szakaszát jelölték ki (kb. 1075 km; 9° 40' 23,89"). A kijelölt szakasz előnye az volt, hogy a 45°-os szélességi kör mindkét oldalára kiterjed és végpontjai a tengerszinthez közeli magasságban vannak. Két, egymástól független mérőexpedíciót szereltek fel 1793-ban. Az egyiket bízták meg a Dunkerque-től Rodezig terjedő táv megmérésével, *J. B. Delambre* vezetésével. A Montjuictól Rodezig terjedő táv meghatározását végző expedíciót *P. F. Méchain* vezette (mindkettőjük csillagász-matematikus, Delambre történész is; **2. ábra**).

A **3. ábra** térképén a délkör szóban forgó szakaszait a széles sáv ábrázolja, kissé „törvonalas közelítéssel". A mérések csillagászati helymeghatározásokból, geodéziai háromszögelésekből és szabatos szintezésekből álltak. A háromszögelések két nagyon gondosan kimért, hat-hat mérföldes alapvonalát Delambreék Melunnál (Párizs közelében), Méchain-ék Perpignannál (a Francia-Spanyol határ közelében) fektették fel, a háromszögelési hálózatot ezekből kiindulva fejlesztették. Alapmértékül ismét a Toise du Pèrou, ill. annak másolata szolgált. Bár Borda kidolgozott egy kis hőfokfüggésű, kettősfém (platina-sárgaréz) mérőrudat, ami a hőtágulást meghajlással kompenzálta volna, végül nem ezt választották. A háromszögeléshez az akkoriban elképzelhető legpontosabb osztású vízszintes körrel felszerelt speciális, kéttávcsöves műszert használták, amit kifejezetten erre a célra készítettek. A különleges szögmérő teodolitnak nem nevezhető, hiszen függőleges köre nincs. A mérési elv – erősen leegyszerűsítve – a következő. Az egyik távcsöve a vízszintes körhöz rögzített volt, így az egyik pontra irányzáskor „magával vitte" a skála nullpontját. A másik távcsővel megirányozták azt a pontot, aminek az előző ponthoz képest, a műszer ál-

4. ábra. A kéttávcsöves szabatos szögmérő műszer

láspontjához viszonyított szögét meg kellett határozni. Az index segítségével ez a szög közvetlenül leolvasható volt. Ezek a mai szemmel nézve óriási

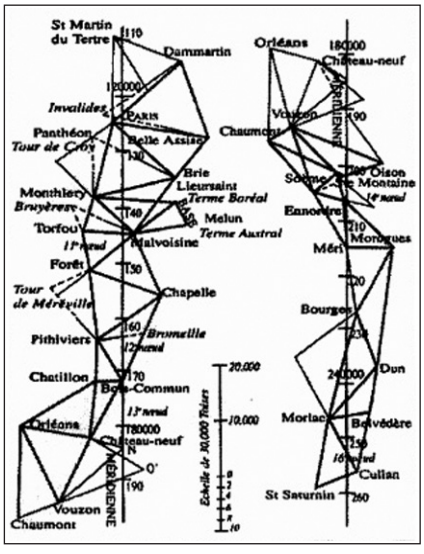


5. ábra. Korabeli szabatos szextáns

méretű geodéziai műszerek (és a csillagászati helymeghatározásra szolgáló asztronómiai szextánsok is) hatalmas körökkel voltak felszerelve, mert csak így tudták elérni a kívánt pontosságot (**4. és 5. ábra**).

6. ábra. A mérendő ívszakasz térképvázlata az egyszerűsített háromszögelési hálózattal, amelyen a két alapvonalat (baseline) is feltüntették

A szögmérő műszerek tehát ún. ismétlőkörös rendszerűek voltak (az elvet *Etienne Lenoir* dolgozta ki 1784-



7. ábra. A délkört övező háromszögelési hálózat Dunkerque-től induló két kapcsolódó szelvényének tervezete

ben és Borda tökéletesítette. A körök egyébként nem 360 fokos, hanem 400 gonos – inkább újfoknak mondjuk, és a geodéták ma is használják – alaposztással bírtak. Ellentétben a régi vicc poénjával, itt bizony a derékszög 100 fok, pontosabban: 100^{g}.) A modern műszerekben üveggyűrűn helyezkednek el az osztások, de akkoriban sárgarézbe foglalt, felpolírozott ezüstsávokra ejtették meg a karcokat.

A teljes ívszakasz vázlatos hálózatát a **6. ábrán**, illusztrációképpen a Dunkerquetől iduló háromszögelési hálózat két kapcsolódó részhálózatának tervezetét a **7. ábrán** láthatjuk.

Az expedíciók sok viszontagságot értek meg. A falusi lakosság többször lerombolta Delambre-ék geodéziai jelzőpontjait, mert a fehér jelzőzászlókat királypárti jelképnek vélték – abban az időben ez nem volt éppen életbiztosítás –, följelentették az expedíció tagjait, akiket többször el is fogtak, majd nagy nehezen szabadon engedtek. Végül 1797-ben lettek készen a mérésekkel.

A nehezebb terepet jelentő Pireneusokban Méchain balesetet szenvedett és kórházba került, máskor banditák elől kellett menekülnie, időközben kitört a francia-spanyol háború, Méchaint bebörtönözték, idegösszeomlást is kapott. Így ők csak 1798 szeptemberében végeztek. Méchain még a börtönben rájött, hogy hibásan mért. Később az 1799-ben hatalomra került Napoleontól kért – és kapott – engedélyt a mérés megismétlésére. Erre azonban nem került sor, mert 1804-ben sárgalázban elhunyt. A mérési jegyzőkönyvei alapján még 1798-ban Delambre korrigálta a számításait. Az 551 584 toise távból Delambre kb. 380 000, Méchain kb. 170 000, toise-nyit mért meg.

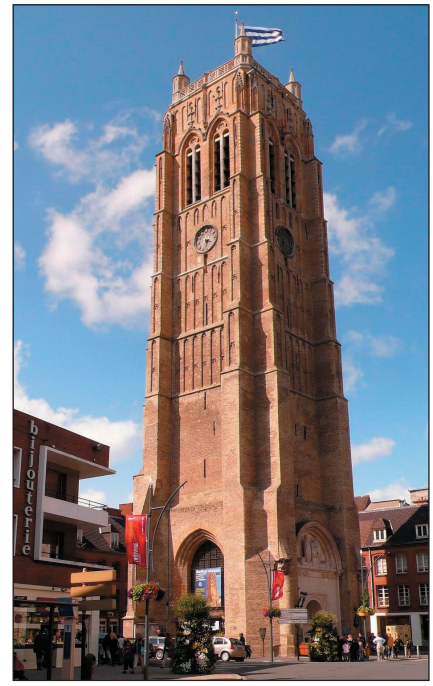
Ismét teszek egy kis kitérőt. Mint látjuk, a métert előkészítő események a francia forradalmat közvetlenül követő alkotmányos monarchia, majd a köztársaság idejére estek. A decimális mértékrendszert a Nemzeti Konvent a naptárra és az időmérésre is kiterjesztette, már amennyire az lehetséges volt. Az 1793 és 1805 között bevezetett forradalmi naptárban a római számokkal jelzett évek az őszi napéjegyenlőség idején kezdődnek, 12 harmincnapos hónapból állnak. 1 hónap 3 tíznapos dekádból, 1 nap 10 decimális órából, 1 óra 100 decimális percből állt. Ehhez persze a másodperc értelmezését is meg kellett változtatni. A fennmaradó 5 nap egy-egy erénynek

8. ábra. A Castillo de Montjuic négyszögletű tornya és a falán elhelyezett emléktábla

szentelt ünnepnap. Szökőévenként a 6. nap a forradalom ünnepe volt. 1806. január 1-jei hatállyal Napoleon visszaállította a Gergely-naptár szerinti időszámítást.

A délkörmérés emlékére 200 évvel később az egyik kezdőponton, a barcelonai erőd négyzet alaprajzú tornyának falán emléktáblát helyeztek el (**8. ábra**). Odalátogató honfitársaink a Montjuic-dombot a Gellért-hegyhez, a rajta levő erődöt a Citadellához szokták hasonlítani. A dunkerque-i kezdőpont a harangtorony (**9. ábra**), a rodezi végpont az ottani Notre-Dame katedrális volt.

Még a tervezettnél jóval tovább elhúzódó mérések befejezése előtt, 1795-ben elkészült az első ún. „*leméter*” (Mètre des archives), amelyet a Konvent augusztus elsején



9. ábra. A dunkerque-i kezdőpont, a harangtorony

10. ábra. „Befalazott méter" a rue Vaugirard 36. alatti épületen. (Fenn a két végelem, alul a teljes hosszmérték)

fogadott el. Lehet, hogy ebben közre játszott a forradalmári türelmetlenség? Ez a méterrúd egy sárgarézből való, téglalap keresztmetszetű véglapos mérték volt, mai szóhasználattal akár mérőhasábnak is nevezhetnénk. Ideiglenes alapmértéknek tekintették; a hossza egyébként 443,443 párizsi vonalnak felelt meg. Az etalon hosszának megfelelően 16 db, márványtáblába ágyazott sárgaréz véglapokkal rendelkező métert is készítettek, melyeket 1796-ban, ill. 1797-ben különböző épületek falába építettek be Párizs legforgalmasabb pontjain, hogy bárki által hozzáférhetők legyenek. Ezeknél a tábla síkjából, arra merőlegesen kiálló csapok belső, egymás felé néző síkjai közötti távolság testesíti meg az alapmértéket, persze erősen korlátozott pontossággal. A nyilvános méterek segítségével például a korabeli kereskedők, mesteremberek ellenőrizhették a méterrúdjaikat. A „befalazott méterekből" mára kettő maradt épségben, de csak egy van az eredeti helyén, a Luxembourg palotával szembeni épület árkádjai alatt (**10. ábra**).

Miután mindkét mérőcsapat végrehajtotta a feladatát, a két mérési eredmény összevetése alapján a méter hossza a számítások szerint 443,295 936 vonalnak adódott; véglegesen 443,296 vonalnak vették, 13 ºR (= 16,25 ºC) hőmérsékleten. Ebből következik, hogy egy párizsi vonal 2,256 mm volt. Ez a mérési felbontás akkoriban köznapi életben tökéletesen elegendőnek bizonyult. Még sok műszaki szakember is túlságosnak finomnak találta a milliméteres osztást! Ne feledjük, a 0,1" = 2,54 mm még a hajdani párizsi vonalnál is durvább, de néhány évtizede elterjedt „rasztermérete" volt az elektronikai paneleknek és számos alkatrésznek.

A Földfelszín alakja szabálytalan. A leírására ma a világóceán közepes, nyugvó tengerszintjére fektetett geoid szolgál (*Listing*, 1878), amely azonban matematikailag nehezen kezelhető. E helyett régóta különböző forgási ellipszoidokkal – ún. földi ellipszoidokkal, szferoidokkal – közelítik ezt a mértani felületet. Az egyes országok olyan ellipszoidot választottak, amely a területükön a legjobban illeszkedett a geoidhoz. Az első használható szferoidot *Bessel* definiálta, és 1841-ben publikálta. Ez szerint a Föld fél nagytengelye (az egyenlítői sugár): a = 6 377 397,155 m; a fél kistengelye (a forgástengely irányú sugár): b = 6 356 078,963 m; a lapultság ($[a-b]/b$), $f \cong 1/299{,}15$.

Bessel szferoidját az 1940-ben közzé tett, és a Szovjet fennhatóság alatt álló államokban – így Magyarországon is – a II. világháború után bevezetett *Kraszovszkij*-ellipszoid váltotta fel (a = 6 378 245 m; b = 6 356 863,019 m; f = 1/298,3). Ma a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió (IUGG) az 1967-ben publikált GRS 1967 elnevezésű ellipszoidja van érvényben (a = 6 378 160 m; b = 6 356 774,516 m; f (vagy α) $\cong$ 1/298,25.

A fentiek a földfelszíni geodéziai hálózatok kialakítása során voltak használatosak. A GPS rendszer az ún. WGS84 (World Geodetic System, 1984), *geocentrikus* forgási ellipszoidot használja (a = 6 378 137 m; b = 6 356 752,3142 m; f (vagy $\alpha \cong 1/298{,}26$).

A szferoidokat a felmérések során, a számítások egyszerűsítése érdekében, 500 km²-nél kisebb területen belül 6371 km sugarú gömbfelülettel, 50 km²-nél kisebb területen pedig sík felülettel helyettesíthetik. Ez azonban kizárólag a szögmérésekre vonatkozik; a magasságmérések (szabatos szintezések) alapfelülete mindig a geoid, hiszen a szintezőműszerek libellája vagy kompenzátora a helyi függővonal normálisát tűzi ki, mint vízszintes irányt!

Mindenesetre a Föld lapultsága már a délkörmérési adatok feldolgozása során is problémássá tette az ívhossz értelmezését. Delambre az alábbi másodfokú polinomot javasolta a méter végleges hosszának megállapítására:

$$1\ \text{m} = 443{,}39271 - 27{,}70019f + 378{,}694f^2,$$

ahol az eredmény párizsi vonalban értendő. A témával foglalkozó matematikusok f-re a legkülönbözőbb értékeket számították ki. Például LEGENDRE f = 1/148 értéket állapított meg, amit azonban több tudós helytelennek vélt. A legkülönbözőbb, ennél kisebb f-et javasoltak. Delambre végül a korábbi perui, Bougueren átmenő délkör ívmérési adatainak újraszámolása alapján az f = 1/308,64 értéket tartotta helyesnek.

A megállapított alaphosszúságot megtestesítendő újabb, szintén téglalap keresztmetszetű (4×25 mm-es), véglapos méterrudakat rendeltek, immár finomított platinából. *Marc Etienne Janety*, eredetileg XVI. Lajos ékszerésze, 1795-ben 4 db kilogramm és 4 db méter mértéket gyártott le. Ezek közül egyet-egyet jelöltek 1799-ben arra a célra, hogy etalonként használják. Innentől ezeket illetik általánosságban a *levéltári kilogramm*, illetve a *levéltári méter* (Mètre des Archives) névvel. A levéltár tulajdonképpen a Köztársasági Archívum. A méterrúdra rávésték a francia forradalom szállóigéjét: *À tous les temps, à tous les peuples* (Minden időkre, minden népnek).

Az ezen méterrúddal történt összehasonlító mérések ismétlési pontossága a 10^{-5} méter, azaz 0,01 mm nagyságrendjébe esett. Ezzel egyidejűleg több vas (acél) alapanyagú méteretalont is előállítottak. A levéltári etalont, az „ősmétert" máig ott őrzik.

1812-ben Napoleon császár engedélyezte a régi mértékegységek használatát. 1837-től kezdve ismét a méter és a kilogramm lett a hatályos.

Már a mérések megkezdésekor több tudós aggályát fejezte ki a délkörmérés kellő pontosságára, megismételhetőségére vonatkozóan. A mérések az akkori eszközökkel nem hozhatták meg a kívánt eredményt. Évekkel később két neves csillagász-matematikus, Bessel és *Clarke* egymástól nagyságrendekkel eltérő hibát határoztak meg, mint a mérések vélhető hibáját. Mások a hibahatárt 10^{-3} m-ben, azaz 1 mm-ben korlátozták. A legújabb mérések szerint az akkor megállapított méter mintegy 0,2 mm-rel rövidebb a délkör negyvenmilliomod részénél, tehát látszólag meglepően jó (lehet, hogy ez csak a véletlen műve), de messze van a kellő pontosságú reprodukálhatóság fogalmától! Ha a mérést a *mai* legkorszerűbb eszközökkel és módszerekkel ismételné meg valaki, az eredményül kapott hosszúságegység meghatározási bizonytalansága nagyságrendekkel maradna el az *akkori* követelményektől is; az aggályok tehát nagyon is megalapozottak voltak…

Több évtized elteltével a levéltári méter véglapjain horpadásokat (síktól való eltéréseket) lehetett kimutatni. Kruspér István (**11. ábra**) – aki akkor már a Királyi József Műegyetem Geo-

11. ábra. Kruspér István (1818–1905)

déziai tanszékének vezetője volt, *Szily Kálmán* fizikussal (**12. ábra**) együtt, 1870-től részt vett az 1875-ös Nemzetközi Méteregyezmény előkészítő tárgyalásaiban; ld. később –, részletes értekezést írt mind magáról az etalonról (*A párisi meter-prototyp*; Pest, 1871; **13. ábra**), mind a véglapokon tapasztalható, az etalon óvatlan kezeléséből adódó sérülések, mélyedések megméréséről (*A párisi levéltári méterrúd véglapjain levő mélyedések megméréséről*; Budapest, 1873).

Az előbbiben Kruspér is aggályait fejezi ki a délkörmérés pontosságát, értelmét illetően, véleményét rövid hibaanalízissel alátámasztva. Ugyancsak e műben esik szó a vas – vagyis inkább acél – mérőrudak, így pl. a Toise du Pèrou megbízhatatlanságáról, amit a többszöri hőtágulás/összehúzódási

12. ábra. Szily Kálmán (1838–1924)

ciklusok után a „molekuláris változásokra" visszavezethető maradó hosszváltozás okoz. Zseniális előrelátására vall, hogy a kilogrammetalon tömegének időbeni változatlanságát is megkérdőjelezi! Utóbbi kétely mára beigazolódott; a végén erre visszatérek.

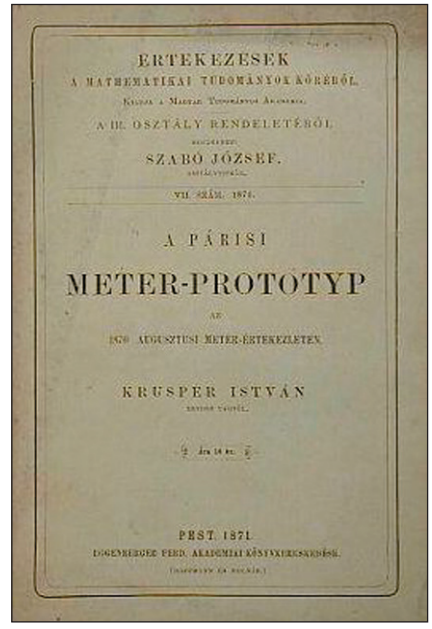
A másodikként említett kiadványban bírálja a sérülések mérésére tett francia kísérleteket, módszereket, és egy speciális, hasított objektívű összehasonlító mikroszkópot javasol azok mélységének megállapítására. (Kruspér értekezéseit, akadémiai felolvasásainak anyagát kisalakú, puha fedelű füzetkékben adták ki, a **13. ábráéhoz** hasonló borítótervvel.)

A keletkezése idején a méterrendszer még Franciaországban is megelőzte a korát. Többször is el kellett rendelni a kötelező használatát, utoljára jóval Napoleon száműzetése után, 1837-ben.

1867-ben a párizsi világkiállításon *Jakobinak*, a szentpétervári tudományos akadémia elnökének kezdeményezésére Méterbizottság alakult, amelyben a Nemzetközi Geodéziai Szövetség is részt vett. A 24 meghívott tagállamot is képviselő bizottság leszögezte, hogy a méterrendszer tökéletesen megfelel a tudomány és a gazdasági élet igényeinek.

A politikai változások Magyarországot is az új mértékrendszer bevezetésére késztették. 1867 közepén *Gorove István* kereskedelemügyi miniszter véleményt kért ezzel kapcsolatban a Magyar Tudományos Akadémiától és más szervezetektől, szakértőktől. A véleményezés alapját egy Bécsben kidolgozott javaslat képezte. Ezzel szemben a Kruspér Istvánból, *Nendtvich Károlyból*, Szily Kálmánból és *Schenzl Guidóból* álló „négyes bizottmány" saját javaslatot nyújtott be. Ennek pontjaival a Gorove által felkért szakértők szinte mindegyike egyetértett, így a „tizedes mérték- és súlyrendszer behozataláról" szóló törvényjavaslatot Gorove utódja a miniszteri székben, *Szlávy József*, 1870. június 3-án benyújtotta.

A javaslat egyik érdekessége, hogy „szabványos alapmértékül" a *Nagy Károly* gyűjteményéből származó platina méterrudat ajánlotta. Ezt a 4×25,3 mm keresztmetszetű hosszmértéket eredetileg 1844-ben a párizsi Observatoire számára készítette egy párizsi műszerész. Mivel a tudományos intézmény pénz hiányában halogatta az átvételét, az éppen akkor Párizsban járó gyűjtő

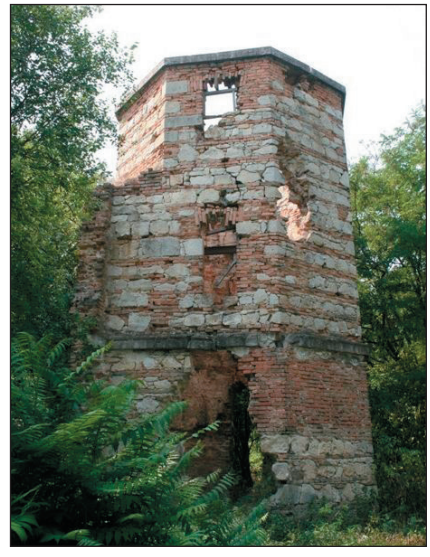

ÉRTEKEZÉSEK
A MATHEMATIKAI TUDOMÁNYOK KÖRÉBŐL
A III. OSZTÁLY RENDELETÉBŐL
SZABÓ JÓZSEF.
VII. SZÁM. 1871.
A PÁRISI
METER-PROTOTYP
AZ
1870. AUGUSZTUSI METER-ÉRTEKEZLETEN.
KRUSPER ISTVÁN
PEST. 1871.

13. ábra. A párisi meter-prototyp c. füzet borítója

– aki jó kapcsolatot ápolt francia tudományos körökkel – vásárolta meg, a platina-kilogrammal és a liter-etalonnal együtt. Nagy világosan látta a decimális mértékegységek előnyét:

„...a méteri rendszernek kitűnő tulajdoni olly számosak, hogy előttük bármelly ellenvetés elenyészik" – írta egy helyen.

A három etalont a szabadságharc során elhurcolták a gyűjtemény több más darabjával együtt, de később a Magyar Tudományos Akadémia bir-



14. ábra. Nagy Károly bicskei obszervatóriumának romja. Az eredetileg háromtornyú, könyvtárral és kiszolgáló helyiségekkel is bíró épületkomplexumból ennyi maradt

tokába kerültek. Az Akadémia, Nagy Károly eredeti szándékának megfelelően, 1870-ben díjtalanul átengedte az államnak (*Akadémiai Értesítő 4 (1870), 28. p.*). Sajnos, az első világháborúban ezek a relikviák elvesztek.

Nagy Károly (1797–1867) a vegytan és a természettan tudósa, polihisztor, a Kossuth-kormány külügyminiszterének, gróf Batthyány Kázmérnak volt a gazdatisztje. Kellően erős mecénásra talált tehát ahhoz, hogy 1845-ben a Bicske melletti Galagonyáson elkezdje megépíteni magán-csillagvizsgálóját (az eredetileg háromtornyú, háromkupolás épületegyüttes romjai máig láthatók; **14. ábra**). A létesítmény 1847-ben lett készen. Akkoriban európai színvonalú felszereltséggel bírt, a műszerek zömmel Bécsben készültek. A csillagvizsgálót vonzó kulturális központtá kívánta tenni. Többször tett ott látogatást két legkedvesebb vendége, Kölcsey és Vörösmarty is. Sajnos, a létesítmény csak 1849-ig működött. '49-ben Nagy Károlyt meghurcolták, és emigrációra kényszerült. A szabadságharc idején leszerelt műszerek, felszerelési tárgyak egy része elkallódott, a szerencsésebbek az ország különböző közgyűjteményeiben kaptak helyet. Néhány eszköz jelenleg a Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeumban található meg. Az impozáns, 100 mm körüli átmérőjű refraktorral felszerelt „Nagy meridiánkör" a Kaposvár utcai tanulmánytárban (talán) megtekinthető.

A méterrudat és a kilogramm-alapmértéket 1870-ben Párizsba vitték, az „ősmértékekkel" való összehasonlítás céljából. Az összehasonlító mérést (komparálást) Kruspér és Szily végezte. A munkát olyan alapossággal, lelkiismeretességgel abszolválták, hogy a párizsi intézet Kruspért egy értékes, kék mázzal bevont, aranyozott díszítésekkel ellátott porcelán vázával jutalmazta meg. A visszahozott etalonokat és a hitelesítési okmányokat a Magyar Országos Levéltárban helyezték el.

A kormány értesült arról, hogy az 1867-ben Berlinben ülésezett geodéziai konferencia egy új, európai méter-alapmérték elkészítését javasolta. A véglapos mértékek összehasonlítása ui. az akkori eszközökkel a szükséges pontossággal nem volt lehetséges (a mérési bizonytalanság 5…10 µm-re tehető). További gondot jelentett a méterrúd anyagának nagy hőfoktényezője.

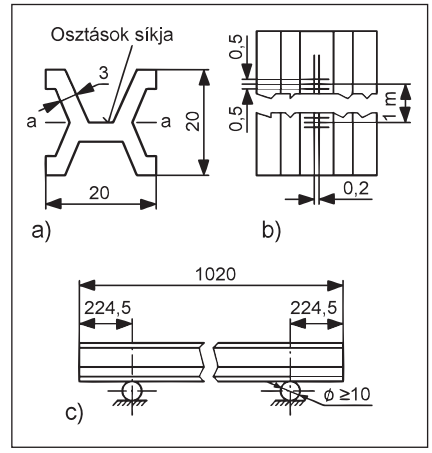
Sajnos, a „négyes bizottmány" javaslatának tárgyalására nem került sor, viszont az osztrák törvényjavaslat 1871. július 23-án törvényerőre emelkedett. Az osztrákok akkoriban a bécsi Akadémia ún. Steinheil-féle, üvegből készült méterrúdját – ezt a téglalap keresztmetszetű, mindkét végén lekerekített üveglécet – tekintették alapmértéknek, mert úgy gondolták, hogy szemben a fémekkel, az nem oxidálódik. Hasonló megfontolásból a tömegetalon náluk kvarckristályból volt kimunkálva.

1874. január 26-án ismét benyújtották az eredetihez képest több ponton módosított törvényjavaslatot, hogy az osztrák törvény 1876-os életbelépését megelőzzék. Ebben már kifejezetten a „méter mérték" behozataláról is szó esik. Az 1874. évi VIII. törvénycikk ez év április 20-án emelte jogerőre a méterrendszer bevezetését Magyarországon. Még ebben az évben, Kruspér javaslatára megalakult a *Magyar Királyi Állami Központi Mértékhitelesítő Bizottság*, amely a szintén ekkor létrehozott mértékhitelesítő hivatalokat, ill. a korábban komoly önállósággal rendelkező megyei mértékhitelesítő intézeteket felügyelte. Első igazgatója maga Kruspér lett, aki 16 évig töltötte be a tisztséget.

3. A platina-irídium méter-prototípusok

A méter általános bevezetésének előkészítésére 1875. május 20-án Párizsban „Nemzetközi Méteregyezmény" készült. A Méteregyezmény az a legrégebben megszületett nemzetközi szerződés, amely ma is érvényes! Ennek ajánlására alakult meg 1889-ben a Nemzetközi Súly- és Mérésügyi Hivatal (*C*omité *I*nternational des *P*oids et *M*esures; CIPM). A Méteregyezmény aláírói között ott volt az Osztrák–Magyar Monarchia részéről *Apponyi Rudolf* párizsi nagykövet. Ezzel jogot szereztünk arra, hogy később birtokoljuk a méter- és a kilogrammetalon egy-egy példányát.

Mint sejthető, ekkoriban a méter fogalmát zavaró kettősség jellemezte: egyrészt a délkör negyvenmilliomod részét, mint vélt természeti állandót jelentette, másrészt a levéltári méterrúd hosszát, mint a fenti geodéziai állandó anyagi megtestesítőjét. Valójában persze a mértékhitelesítésekhez csak ez utóbbit lehetett felhasználni, ezért a méternek a délkör hosszából történő leszármaztatásától (és a szóba került ismételt délkör-mérésektől is) végleg elálltak, és etalonnak a levéltári méteretalont tekintették, de elhatározták egy újabb, azénál kisebb bizonytalansággal komparálható etalontípus kifejlesztését. Ebben része volt az 1874-es magyar törvényjavaslatnak is. Végül a véglapos mérték (end standard) helyett végvonásos (line standard) konstrukció mellett döntöttek.



15. ábra. A platina-irídium méterrudak kialakítása, jellemző méretei, jelkarcai, alátámasztási pontjai

Az újabb etalonról – amit számos métertörténeti forrás és méréstechnikai szakirodalom szintén az „ősméter" megnevezéssel illet – érdemes egy kissé részletesebben beszélni. A megtervezését *Henri Tresca* francia fizikusnak, a műszaki mechanika elismert tudósának a nevéhez kapcsolják, de a kialakításában szerepe volt Kruspér javaslatainak is. A jellegzetes, „X" keresztmetszetű rúd (**15.a ábra**) 90% platina és 10% irídium ötvözetéből készült, ami viszonylag kis hőtágulási együtthatóval rendelkezik. A többi, szennyezőnek tekinthető ötvöző aránya egyenként 0,1% vagy az alatti lehetett. A rúd 1020 mm hosszúságú. A métert két, az *a-a* síkra – azaz a semleges síkra – a hossztengelyre merőlegesen felvitt, 8 µm szélességű fő karcok közötti távolság képviseli. A karcoktól 0,5 mm-re mindkét oldalon egy-egy segédvonás található. A semleges sík középvonalában – a méretkarcok környezetében igen jó felületminőségűre felfényezett felületdarabokon – egy-egy kettős karc húzódik (a kettős karc vonaltávolsága 0,2 mm). Ezek tűzik ki az etalon tengelyvonalát (**15.b ábra**). Ez a karcrendszer megkönnyítette a nagy nagyítású mérőmikroszkópokkal felszerelt hosszkomparátor kezelőjének a méretet jelölő karcok egyértelmű azonosítását.

Az X szelvényű méterrudat a legki-

16. ábra. Az egykori OMH címere

sebb lehajlást eredményező, szimmetrikusan, egymástól 571 mm-re (tehát a végektől 224,5 mm-re, az ún. Besselféle alátámasztási pontokban) elhelyezett 2 db 10 mm (vagy legalább 10 mm) átmérőjű görgővel kellett alátámasztani A nagy felületű és viszonylag kis keresztmetszetű méterrúd fő előnye a kellő merevségen és az ötvözetre jellemző, viszonylag nagy felületi keménységen kívül az, hogy a környezet hőmérsékletét gyorsan és egyenletesen képes átvenni. A hitelesítések során ez a hőmérséklet 0 °C volt. A méteretalonok komparálásának elméleti és gyakorlati kidolgozásában – a komparálás jeges desztillált vízben történt – is nagy szerepe volt Kruspérnak, bár a folyadékban történő mérést Bessel javasolta, és komparátort is konstruált hozzá. (Akkoriban többen foglalkoztak a mérőmikroszkópokon alapuló optikai komparátorok kérdésével.) Kruspérnek a méteretalonok folyadékban történő összehasonlításról írott tanulmánya: *A vonásos hosszmértékek összehasonlítása folyadékban*, ill. a *A comparatorokról* című (mindkettőt Budapesten adták ki, 1873-ban), amelyben a különböző komparátorok előnyeit, hátrányait is részletezi.

Nem lebecsülendő előnye a bemutatott szelvénynek a téglalap keresztmetszetű mérőrúddal szemben az, hogy a rendkívül drága ötvözetből kevesebbet kellett hozzá felhasználni ahhoz, hogy az inerciája ugyanakkora legyen.

Az etalont Párizs mellett, Sèvresben őrizték, egy külön e célra emelt épületben, a *Pavillon de Breteuil*-ben, amely ennek következtében nemzetközi státusú intézménnyé vált és területen kívüliséget élvezett. (Ha minden igaz, 1927-ig tárolták itt.) A platina-irídium méterrúd jellegzetes szelvénye a 2006-ban megszűnt Országos Mérésügyi Hivatal jelvényének központi eleme volt (**16. ábra**). A méter meghatározása akkoriban így hangzott:

Egy méter az a távolság, amely a Párizsi platina-irídium méterrúd két középső osztásának a tengelyvonalak által határolt szakasza között mérhető 0°C-on, 750 torr nyomáson a fent részletezett alátámasztás mellett.

Ezt a meghatározást 1889-ben az iparilag fejlett államok elfogadták – Anglia és az Egyesült Államok kivételével.

Érdekes adalékok a méterrudak legyártása körüli nehézségekről:

„Mindaddig csupán 100 kg platina-irídium ötvözetet sikerült készíteni (George Matthey metallográfus által 1862-ben), de szükségessé vált ennek kiegészítése 250 kg-ra. Ezt Henri Sainte-Claire Deville és J. Henri Debra pótolták[15]. Az ötvözet három hatalmas darabból állt, amelyet 2 kg-os részekre vágtak. Az öntési művelet 1874. május 13-án történt a Conservatoire des Arts et Metiers[16] épületében, Henri Tresca, a fia, Gustav Tresca, George Matthey, Deville és Debray felügyelete alatt. Az eredményül kapott öntvény 236 kg lett. Az X forma létrehozása közben néhány munkadarab eltört, így összesen 27 méterrudat sikerült elkészíteni. Amikor Deville ellenőrizte az öntvények sűrűségét, kiderült, hogy az a vártnál kisebb, mert vas- és ruténiumszennyeződés került bele. Matthey[17] megállapítása szerint a vasszennyeződés az X formák hideghúzása miatt került a méterrudak anyagába. Ezért felkérték, hogy készítsen két négyszögletes méterrudat is. Ezek hidegalakítása már sikerrel járt, és ezzel vált véglegessé az X formájú változat. A rudak X formába való sajtolása 448 órányi időt vett igénybe. 1876 és 1878 között további méteretalonokat készítettek, többek között egy négy méter hosszú darabot is a Nemzetközi Geodéziai Társaság megrendelésére.

1882-ben a francia állam további 30 méterrudat rendelt (a cég neve akkor már Johnson és Matthey volt). Az ötvözet összetétele:

89,75-90,25% platina
9,75-10,24% irídium
< 0,1% ruténium
< 0,1% vas
< 0,15% ródium és palládium
< 0,02% arany, réz, ezüst, vagy egyéb fém”

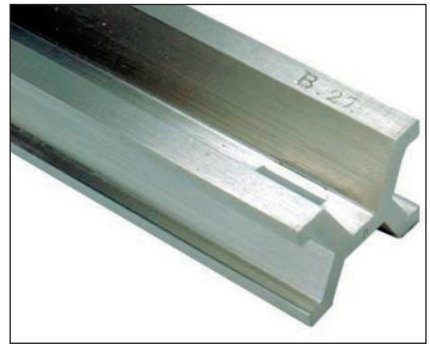
(*forrás: Wikipedia*)

A nyersgyártmányokat a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban (BIPM) vetették alá a végső megmunkálásnak. A sorszámmal ellátott, a méretjelölések környezetében tükrösített felületű méterrudakra felvitték a karcokat. Mivel a *6. számú* rúd karctávolsága esett a legközelebb a levéltári méter hosszához – csak 6 μm-rel bizonyult rövidebbnek azénál –, ez lett az elsőrendű, a nemzetközi méteretalon (metre international). A többit – a másodrendű etalonokat – az egyezményt elfogadó országok között 1889. szeptember 24-én Párizsban kisorsolták és átadták.

A magyar kormány még 1881 február 3-án egy méteretalont és egy kilogrammetalont rendelt. Ezek értékét utólag 13 278 frankban (6500 akkori forintban) állapították meg.

Érdekességképpen megemlítem, hogy az USA a 27. számú másolat tulajdonosa lett (**17. ábra**), bár a köznapi életben máig a tradicionális, nem decimális alapú mértékek vannak használatban. Így a hosszmértékek az inch – col, hüvelyk –, a láb, a yard, a szárazföldi, ill. a tengeri mérföld. Ezek átszámítását a metrikus rendszerre precízen definiálták. Ez szerint pl. 1” = 25,4 mm, 1 ft = 12”, 1 yd = 3 ft = 0,9144 m.

Dacára annak, hogy az SI, ezzel a méterrendszer bevezetésével a kormányzat, ill. az illetékes hatóságok többször megpróbálkoztak, a kapcsolatos ismereteket az alapszintű oktatás részévé is tették, gyakorlatilag csak a tudomány, az űrtechnika és a haditechnika területén kényszerültek ténylegesen a használatára. Ennek számos



17. ábra. Az USA 27. számú méteretalonjának „B” vége

oka van, amelyek részletezése külön írás tárgyát képezhetné.

Az előzőekhez annyit azért hozzáfűzök, hogy a másodperc az USA-ban is másodperc. Azonban az ottani szakírók nem a secundum törvényes SI rövidítését, az *s*-t használják, hanem a *sec*-et. Az a baj, hogy ez nálunk is elterjedt: számos népszerű ismeretterjesztő folyóiratban, tudományos folyóiratban, de még néhány PhD dolgozatban is találkoztam ezzel a jelölésmóddal!

Jelen cikk megírása idején az USA-n kívül Libéria és Mianmar (korábban Burma) még nem iktatta törvénybe az SI-t. Mindenesetre az előbbiek tükrében átérezhetjük, hogy micsoda hatalmas vívmánynak számított a decimális mértékrendszer! Pedig *Simon Stevenius* 1584-ben, *De Thiende* című művében már javasolta a mértékegységeknél is a decimális rendszer bevezetését…

4. Magyarország méter-alapmértéke, a nemzeti méteretalon

Magyarország a *14. sorszámú* méteretalont kapta (**18. ábra**), amelyet átadás előtt összehasonlítottak a 6. számú párizsi méterrúddal. A nemzeti méteretalon 1,3 μm-rel bizonyult rövidebbnek a nemzetközi etalonnál. A 14. számú méterrúd hivatalosan megállapított hőmérsékletfüggő hossza, azaz a fő karcok közötti távolság m-ben:

$$M_{14} = 1\text{-}1{,}3\cdot10^{-6}+8{,}646\cdot10^{-6}t+10^{-9}t^2,$$

ahol t a hőmérséklet, °C-ban. A függvény jobb oldalának második tagja a nemzetközi etalontól való alapeltérés; ez mindegyik nemzeti etalon esetén más és más. A többi tag azonban az összes példányhoz mellékelt összefüggésben valószínűleg a fentiekkel megegyező. (Bizony, az alapfokú fizikai tananyagokban szereplő, mindannyiunk által ismert fogalom, a „lineáris hőtágulási együtthatóval” jellemzett hőtágulás nem is annyira lineáris, ráadásul ez a másodfokú függvény is nyilván közelítő pontosságú…) A komparálást először optikai komparátorokkal végezték, amelyekkel pl. a másodrendű etalont az elsőrendűvel lehetett összehasonlítani, 1925-től pedig a Michelson-féle interferométerrel egyedileg mérték meg a karcok távolságát; ld. később.

Egy érdekesség megfigyelhető a képeken: a karcok számára felfényezett felület itt lóversenypálya alakú és a gerinc síkja körülötte alá van munkálva, míg a 27. számú etalon fotóján téglalap alakú felület látszódik. Mind a 17., mind a 18. ábrán egy, a véglap közepébe beütött 5-ös szám is felfedezhető. Ez mindkét véglapon szerepel. Mindegyik etalonrúd végei „A”, ill. „B” betűvel azonosítottak.

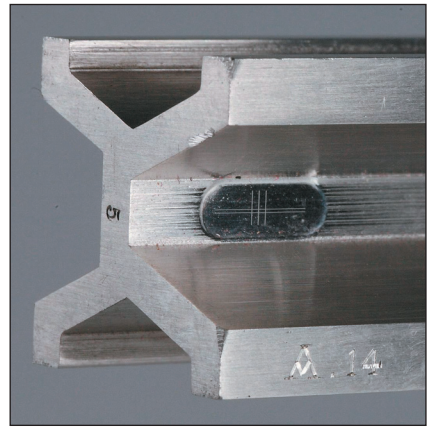
1891-től ez az etalon került a Nagy Károly által adományozott, 1874 óta alapmértékül szolgáló méterrúd helyére. (Ezt az 1891: VI. t. c. rendelte el, mivel a korábbi néven „levéltári” etalon, azaz a „magyar ősméter” már ugyanúgy nem felelt meg a legmagasabb követelményeknek, mint párizsi elődje. Ugyanez vonatkozik természetesen a kilogrammetalonra is.)

A nemzeti méteretalont különleges bánásmódban részesítették. Először a Budapesti Nemzeti Bank pincéjében őrizték egy gyapottal kibélelt, lepecsételt ládában. A gyapotbélés egy hengeres réztokot, az pedig magát a méterrudat tartalmazó, bársonybélésű tokot rejtette. Az 1907-ben alapított (VIII. tc.) *Magyar Királyi Központi Mértékügyi Intézetben* két, a nemzeti méteretalonhoz hasonló „használati főmintát” készítettek. Ezekkel ellenőrizték azokat a sárgaréz alapanyagú méterrudakat, amelyek alapján a mérőeszköz-gyártók dolgoztak. Az intézet rendelkezett egy ún. Deleuil-féle véglapos sárgaréz minta-méterrel is. Az akkor már *Központi Mértékügyi Intézet* 1915-ben a berlini Bamberg cégtől 7 db különböző minta-métert, ill. néhány mérőéket is rendelt, amelyek segítségével a véglapos hosszmértékeket 0,01 mm felbontással lehetett összehasonlítani. Az összehasonlításra a Műegyetemtől vásárolt francia gyártmányú műszert használták. Az egyetemen átalakított műszerrel 1 m-nél kisebb hosszúságot megtestesítő véglapos vagy végvonásos mértékeket is komparálni lehetett.

A Méteregyezményben részt vevő országokban legkülönfélébb típusú, gyártmányú méteretalonokat használtak például a műszergyártók (harmad-, ill. negyedrendű etalonok).

A II. világháborúban Budapest ostroma során a komparátor a mérőszobával együtt elpusztult, az új, klimatizált labort sokkal később, 1953-ban szerelték fel, már az OMH-ban.

Az ostrom közepette, 1944. december 15-én Adolf Eichmann SS-Sturmbannführer utasítására Budapestről elindítják a rabolt kincseket szállító „aranyvonatot”, amely többek között a magyar méteretalont is magával vitte. Az értékeket az amerikai hadsereg lefoglalta, azokat hadizsákmánynak tekintették. 1946. június 18–25. között Washingtonban a *Nagy Ferenc* miniszterelnök vezette küldöttség részvételével lefolytatott tárgyaláson döntöttek az MNB aranykészletének, valamint más értékeknek, műkincseknek – és például a méteretalonnak – a visszaadásáról, amit június 21-én ezt az USA külügyminisztériuma hivatalosan is bejelentett. A méterrúd 1946-ban a hadizsákmány egy részével sértetlenül visszaérkezett Budapestre. Megőrzés végett a KMI betétjeként ismét a Nemzeti Bankban helyezték el.



18. ábra. A 14. számú platina-irídium méteretalon „A” jelű vége a karcokkal. (Fotó: Dabasi András, Magyar Nemzeti Múzeum)

1951-től az intézet *Mérésügyi Intézet* néven folytatta a munkáját, majd 1952. szeptember 1-jétől az új neve *Országos Mérésügyi Hivatal* (OMH) lett. Aztán változatlanul a budai Németvölgyi úti telephellyel, de a 260/2006. (XII. 20.) Korm. rendelet alapján 2017. január 1-ig *Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal* (*MKEH*) *Metrológiai Hatóság* a volt a megnevezése. Azóta a helyébe jogutódként *Budapest Főváros Kormányhivatala (BFKH) Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztály* lépett, a jogfolytonosság biztosítása érdekében, továbbra is ugyanazon a telephelyen.

A párizsi elsődleges méteretalonon alapuló meghatározás viszonylag sokáig érvényben maradt, és a többször átkeresztelt mérőlaborban máig elő-előveszik a nemzeti etalon utódját. (1971-től ez egy Hommel gyártmányú, „H” keresztmetszetű, *428. sorszámmal* ellátott méterrúd volt, amit 1982-ben felváltott a szovjet ENyIMSz márkájú „Invarstabil” méterrúd. Ez esetben a megnevezés

19. ábra. Az ENyIMSz milliméterosztásos etalon (Az MKEH-ben fotózta a szerző)

egy speciális, 58% nikkelt tartalmazó acélötvözetre utal, amelynél a kristályszerkezet időbeni változásából adódó méretváltozás minimális. A szintén „H” keresztmetszetű rúd semleges síkja végig tükrösített, amelyre 1 m hosszon, 1 mm-es osztással, 6 µm szélességű karcokat vittek fel. A tengelyvonalat ennél is egy 0,2 mm térközű karcpár tűzi ki, amely végigvonul a teljes hosszon. Ezek a finom vonások szabad szemmel csak megfelelő megvilágítás, „súrlófény” mellett észlelhetők. A 0114-77 számú etalon névleges hibája az 1 m-es hosszra vonatkoztatva 0,3 µm. A „H” egyik felső bordasíkján számozott centiméteres osztás található, megkönnyítendő a főosztások azonosítását (**19. ábra**). Gyakorlatilag azonos keresztmetszetű és anyagú méter-etalonokat több műszergyártó is kínált. Egy szép, angol gyártmányú darab látható a **20. ábrán**, amelyen 1 mm-es számozott azonosító osztás figyelhető meg.

20. ábra. Egy H-profilú, milliméter-segédosztásos etalon. (Hilger & Watts, 1948)

A fenti típusú nagypontosságú hosszmérő skálák paraméterei „szabványosítottak”. A vonatkozó előírásokat az OIML (*O*rganisation *I*nternationale de *M*étrologie *L*égale) 1991-ben kiadott R 98 számú, *High-precision line measures of lenght* című közleménye tartalmazza. (A neten könnyen megtalálható.) Ez a fotókon is látható H keresztmetszetet befoglaló méreteit 25×30 mm-ben szabja meg. Az 58% nikkelt tartalmazó acélötvözet lineáris hőtágulási együtthatóját 11,5 $\pm 0{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$-ben deklarálja, +15...+30 °C környezeti hőmérséklethatárok között. A mércéket 5 pontossági osztályba sorolja, az osztások paraméterei, a maximális eltérések is ettől függenek. A legpontosabb az *M* osztály.

Az ilyen etalonok mérése szárazon, klimatizált laborban történik, a mércét a készlethez mellékelt görgőkön feltámasztva. A feltámasztás elve kissé hasonló a kéttámaszú hídszerkezetek görgőihez: az egyik görgőn síklapot alakítottak ki, így az felfekszik a mérőpad (többnyire gránitasztal) vízszintes síkján, elfordulni nem tud. A másik görgő viszont szabadon működhet. Ez a kivitel megelőzi az etalonrúd mérés közbeni elmozdulását. Az etalon oldalán a két alátámasztási helyet megjelölték. A BFKH-ban az összehasonlításokat különböző gyártmányú lézer-interferométerek segítségével végzik.

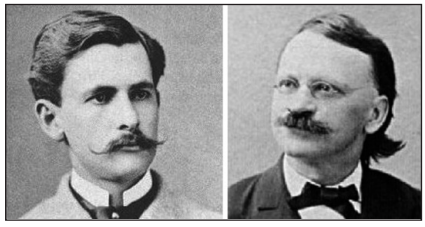
A platina-irídium nemzeti méteretalon ma is a Főosztály tulajdonában van. Csupán műszaki emlék, múzeumi tárgy, amelyet a Magyar Nemzeti Múzeumban helyeztek letétbe, 1996-ban. Az akkor berendezett állandó kiállításon tekinthető meg, stílszerűen a 14-es teremben (**21. ábra***;* a termetes „Kruspér-váza” is az üvegvitrinben van kiállítva).

5. A bármikor „újrateremthető” méter

Mind Magyarország, mind az egyezményben szereplő többi ország mérésügyi hivatala meghatározott időközönként Párizsba küldte a nemzeti etalonját ellenőriztetni. Ezen mérések során derültek ki ezekkel a méterrudakkal – és ezzel a méter-meghatározással – kapcsolatos problémák. Egyrészt a karcok leolvasási bizonytalansága 0,2 µm körüli volt, másrészt a platina-irídium ötvözet a lassú kristályszerkezet-változások miatt folyamatosan változtatja a méretét. Például a 14. számú másolat „életében” összesen 3 µm eltérést mértek! (Az összehasonlítási bizonytalanság 10^{-7} nagyságrendben volt.)

Más természetű aggályok is felvetődtek. Mi van, ha az elsőrendű etalon megsérül, eltűnik vagy megsemmisül? (Időközben kitört az I. világháború.) A délkör újramérése az alaposan megnövekedett pontossági igények miatt

21. ábra. Kiállítási vitrin a Nemzeti Múzeum 14. termében. Ebben helyezték el többek között a 14. számú méterrudat és a „ Kruspér-vázát”. (A MNM-ban fotózta a szerző 2016-ban)



22. ábra. A. A. Michelson (baloldalt) és E. Morley

szóba sem jöhet. Valami olyan természeti állandót kellett találni, amelynek felhasználásával megfelelő laboratóriumi körülmények között bármikor, bárhol előállítható a méter.

Már viszonylag korán felvetődött az a gondolat, hogy a hosszúságegységet valamilyen módon egy nagyon stabil hullámhosszúságú (fény)sugárzás hullámhosszához kössék. A fény hullámhosszán alapuló definíciót *Jacques Babinet* javasolta elsőként, 1827-ben. *James Clark Maxwell* 1859-ben a nátrium sárga színképvonalát ajánlotta e célra, de a gyakorlati megvalósításhoz nem adott iránymutatást. 1870-ben ezt írta: „*Ha a hosszúság, az idő és a tömeg abszolút maradandó etalonjait akarjuk megvalósítani, akkor azokat nem bolygónk mozgásában vagy méreteiben kell keresnünk, hanem az elpusztíthatatlan, megváltoztathatatlan és egymáshoz tökéletesen hasonló molekulák hullámhosszában, rezgési periódusában és abszolút tömegében*”.

Az első valóban elfogadott ötlet *A. A. Michelson* agyából pattant ki. Ő ugyanis – *E. Morley*-val (**22. ábra**) – még 1881-ben megalkotta híres interferométerét (a higanyfürdőn úszó négyzetes márványlapra épített műszer vázlata a **23. ábrán** látható), amellyel – Maxwell elvi javaslata alapján – eredetileg az elektromágneses hullámok feltételezett hordozójának, annak a bizonyos rejtélyes „éternek” a létezését (vagy nem létezését) kívánták igazolni. Az éter létét nem sikerült bizonyítaniuk, ám a Michelson-féle interferométerként emlegetett optikai összeállítás máig a hosszméréstechnikának (de például a gravitációs hullámokkal kapcsolatos fizikai alapkutatásoknak is) nélkülözhetetlen eszköze. Hatalmas tudományos szenzációként, először 2016-ban a *Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory* (LIGO) -nak éppen ilyen kilométeres karhosszúságú, föld alatti interferométerrel sikerült először detektálnia az *Einstein* megjósolta gravitációs hullámokat!

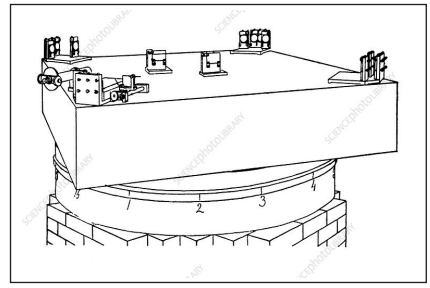
A feltalálók interferométere lehetővé tette egy úthossznak – például a platina-irídium etalonok két karca közötti távolságnak – közvetlen összehasonlítását egy szigorúan egyszínű fénysugárzás hullámhosszával.

Michelson erre a módszerre tett javaslatot 1889-ben. Az 1927-ben megtartott VII. Súly- és Mérésügyi Nemzetközi Konferencia a vörös kadmium hullámhosszát fogadta el erre a célra. Michelson fényforrásként olyan lámpát használt, amely a kadmium vörös hullámhosszán sugároz, azaz bocsát ki fényt. Az alaposan továbbfejlesztett interferométerével és speciális optikai rendszerrel kiegészített kadmium fényforrásával kb. 200 mm-ig tudott interferenciát létrehozni, vagyis ennyi volt a fényforrás koherenciahossza, és ezzel az interferométer mérőkarjának maximális hosszváltozása. Ezzel a műszerrel – több lépésben – hasonlította össze a platina-irídium etalont a vörös Cd hullámhosszával. A mérés eredményeképpen a következő méter-meghatározás született meg:

A méter az a távolság, amely a vörös kadmium hullámhosszának 1 553 165,13-szorosát teszi ki 15 °C-on, 760 torr nyomáson, a levegő 0,03% CO_2 tartalmánál, g = 9,80665 m/s^2 nehézségi gyorsulás mellett. (λ_{Cd} = 0,64384696 μm).

A fenti körülmények között végrehajtott mérés bizonytalansága 10^{-8} m nagyságrendben volt. Az alapmértékkel szemben támasztott egyre fokozódó pontossági követelmények miatt ez a meghatározás csak 1960-ig volt érvényben. A kadmiumlámpa magas hőmérsékleten dolgozó fényforrás volt, ráadásul nem adott kellően éles interferenciacsíkokat. Felvetődött többek között egy higany-izotópon alapuló, rádiófrekvenciásan gerjesztett fényforrás is, ám az 1960 októberében, Párizsban megrendezett 11. Súly- és Mérésügyi Nemzetközi Konferencián, az etalonképzési elv megtartása mellett, a Cd helyett a 86-os tömegszámú kripton izotóp sugárzására alapozott meghatározást iktatták törvénybe. A méter ettől kezdve:

a 86-os tömegszámú kripton izotóp 2p10 és 5d5 energiaszintjei közötti hiperfinom átmenetnek megfelelő, narancsszínű sugárzás hullámhosszának (λ_{Kr} = 0,605 780 211 μm, vákuumban) 1 650 763,73-szorosa.



23. ábra. Az első Michelson-Morley interferométer ff. fotó alapján készített vázlata

Nálunk ezt a meghatározást az 50/1960.XI.18.Korm. rendeletben rögzítették, bár a nemzeti méteretalon – a referenciaetalonokkal való egyszerűbb összehasonlíthatósága miatt – még ez után is használatban maradt.

A kriptonsugárzás hullámhosszának állandósága olyan nagymérvűnek bizonyult, hogy még egyes hosszmérésre szolgáló lézer-interferométerek sugárforrásának hullámhosszát is beépített kripton-interferométer alapján automatikusan helyesbítették.

A métert 10^{-9} pontossággal lehetett a kriptonlámpás interferométerek segítségével reprodukálni. Tulajdonképpen a sugárzás hullámhossza ennél elvben nagyságrendekkel stabilabb, azonban sajnos, egyetlen kripton-atom sugárzását lehetetlen elkülöníteni. Az atomok sokaságának sugárzása viszont nagy spektrumvonal-szélességet okoz, jóval nagyobbat, mint a lézereké.

6. A méter ma érvényes definíciója

Bay Zoltánt (**24. ábra**), 1948-ban az Egyesült Államokba menekült világhírű magyar fizikust leginkább az 1946-ban, a Tungsram újpesti telephelyéről végzett Föld-Hold-Föld rádióradá-

24. ábra. Bay Zoltán (1900–1992)

ros kísérletéről, ill. a fotoelektron-sokszorózójáról ismeri a szakmai közönség, bár számos más találmány, szabadalom is fűződik a nevéhez. Éppen a fotoelektron-sokszorozót felhasználva ő igazolta a legnagyobb pontossággal az energia-megmaradás törvényét. 1965-től a fénysebesség minél pontosabb mérése foglalkoztatta. Az általa kidolgozott újszerű elven, a koherens lézerhullámok mikrohullámokkal történő elektrooptikai modulációján alapuló mérései (1972) eredményeképpen a fénysebesség értékét az Általános Súly- és Mértékügyi Értekezlet (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM) 15. ülésszaka (1975.) *c = 299 792 458 m/s*-ban rögzítette. A tudós Hold-Föld távolságon végzett mérései 10^{-13} bizonytalansággal igazolták a fénysebességnek Einstein elméleteiből következő állandóságát. Jelenlegi tudásunk szerint a fénysebesség az egyetlen olyan fizikai állandó, amelynek a bizonytalanságát 0-nak tekintjük!

A mérhető mennyiségek közül már évtizedek óta az idő az, amit a legnagyobb pontossággal tudunk mérni (egyes források szerint a ma elérhető bizonytalanság 10^{-16}). Ez a tény már 1906-ban *M. Planckot*, ill. 1961-ben *C. H. Towerst* arra vezette, hogy a hosszúság egységét az időből és a fénysebességből, mint a természet egyetemes állandójából származtassa.

Míg ezek csak elméleti megfontolások voltak, addig Bay a gyakorlati megvalósítást is kipróbálta és leírta. Sajnos, az új mérési módszer részletes leírása csak az USA-beli Nemzeti Szabványügyi Hivatal talán máig kiadatlan, 58 oldalas belső beszámolójában található meg, amit 1965 januárjában készítettek. Később, 1968 és 1972 között a tudós rengeteg közleményben kiállt az egységes, a fény sebességén keresztül összekapcsolt idő-és hosszúságetalon bevezetéséért. Azonban ezt a méltán zseniálisnak nevezhető ötletet a mérésügyi intézetek – Anglia és Japán intézete kivételével – ellenezték. Fizikusok egy csoportja azzal vádolta meg Bayt, hogy a fénysebességet rá akarja erőltetni a méterre.

– *Ellenkezőleg: én a métert akarom ráerőltetni a fénysebességre!* – válaszolta a tudós.

Pedig ha belegondolunk, akkor az ellenvetésben van is valami: a méter definícióját arra a – természetesen m/s dimenziójú – fénysebességre alapozza, amely már a méterhez kötött…

Az Optical Society 1969 őszén Chicagoban rendezett ülésén is felvetették az új méter-definíció bevezetését. Akkor már csak két ellenjavaslat hangzott el. *J. A. Hall* egy metánstabilizált He-Ne lézer hullámhosszára, *K. M. Baird* egy CO_2 lézer hullámhosszára kívánta volna visszavezetni a métert.

A Méter Definíció Tanácsadó Bizottság (CCDM) 1983 októberében Párizsban, a CGPM 17. ülésszakán előterjesztette Bay javaslatát, amit el is fogadtak. Az OMH is javasolta a 8/1976.IV.27. MT rendelet módosítását; nálunk a CGPM definícióját az 1991. évi 45. törvényben rögzítették, október 9-én. A méter ma érvényben levő meghatározása:

1 méter az a távolság, amelyet a fény vákuumban 1/299 792 458 s alatt tesz meg.

Az előbbi meghatározás szerinti mérés bizonytalansága már csupán legfeljebb 10^{-12} nagyságrendű, egyes kutatók pedig 10^{-15} elérhető bizonytalanságot prognosztizálnak!

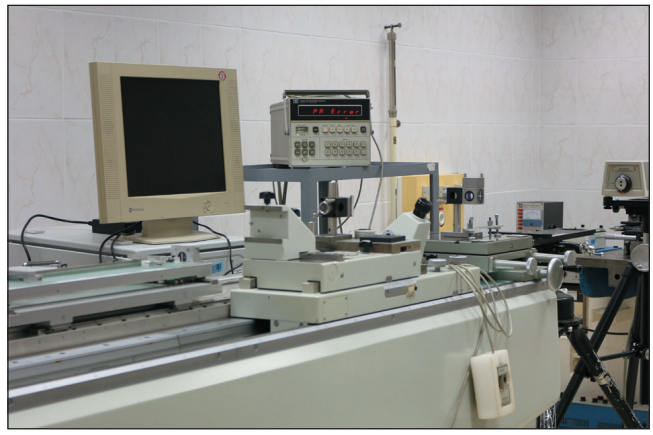
A méterrel kapcsolatban a *kilo*n, *milli*n kívül a *deci* és a *centi* előtagok is törvényesek. Ez vonatkozik a métert és hatványait tartalmazó származtatott mértékegységekre is.

Bár a fenti meghatározáson alapuló méréshez elvileg bármilyen elektromágneses sugárzás felhasználható, a gyakorlatban olyan atomi és molekuláris átmenetek egy készletét alkalmazzák, amelyek frekvenciáihoz a különféle lézersugárzások állandósíthatók. A hosszmérték-kalibrálási feladatok közvetett módszerrel, speciális lézeren alapuló műszeregyüttesekkel is megoldhatók, és nem kell mindig a fénysebesség alapján mérő, atomórát is igénylő, rendkívül drága és körülményesen kezelhető berendezésekhez folyamodni, amelyekből jelenleg csak néhány működik a világban.

Hogy milyen eszközökkel és hogyan történtek 2016-ban a legnagyobb pontosságú hosszúságkalibrálások az MKEH-ben, és ezek hogyan vezethetők vissza a Bay-féle definícióra, arról álljon itt egy tömör ismertetés, *Tomanyicka Kálmán* nyugalmazott metrológus szíves közlése alapján:

A $^{127}I_2$ abszorpciós vonalaira stabilizált He-Ne gázlézer működtetése úgy történik, hogy bekapcsolás után a lézer mint egy teljesen közönséges He-Ne gázlézer működik, ez a stabilizálatlan állapota. Amikor stabilizált állapotba akarjuk hozni azt, akkor az egyik tükör mozgatásával (piezokerámiára kapcsolt feszültség változtatásával) hangoljuk a lézer frekvenciáját és amikor a ki-

25. ábra. Thomson gyártmányú jódstabilizált He-Ne lézer.
(Az MKEH-ben fotózta a szerző 2016-ban)



26. ábra. Mérési összeállítás a Zeiss hosszmérőgéppel és a HP lézerinterferométerrel.
(Az MKEH-ben fotózta a szerző 2016-ban)

ván atomi átmenethez érünk (az ún. d; e; f; g; h; i; j vonalak valamelyikéhez) akkor a szabályozó jel harmadik deriváltjának nulla átmenetén kapcsoljuk be a fáziszárt szabályozókört. Ebben a helyzetben az atomi átmenetnek (E = h·f) megfelelő frekvenciájú fény lép ki 10^{-12} relatív stabilitással.

Ezen nagy pontossággal ismert frekvenciájú fényt heterodin elven, egy féligáteresztő tükrön interferáltatjuk az ismeretlen (de λ = 633 nm névleges hullámhosszú) lézer fényével. Az interferencia eredménye a két lézer frekvenciakülönbsége. Mivel a frekvenciának nincs előjele, így nem tudjuk megmondani, hogy az nagyobb vagy kisebb-e, mint az etalon frekvenciája. Ezért mind a hét atomi átmeneten megmérjük a frekvenciakülönbséget, és ebből számítjuk ki az ismeretlen frekvenciájú stabilizált lézer aktuális frekvenciáját és annak reciprokát, a hullámhosszát.

Az ellenőrizni kívánt sugárforrás nem csak lézerinterferométer lehet, hanem bármilyen más, λ = 633 nm hullámhosszúságú stabilizált lézer. Az MKEH-nak jelenleg több lézerinterferométere is van. (A hosszúságmérések területén 1 db HP 5528-cal; 1 db Agilent-tel és 1 db Renishaw XL-80-nal rendelkezünk.)

Az előbbiekben felsorolt lézerinterferométerek a Doppler elvet alkalmazzák, azaz közvetlenül a szögprizma mozgási sebességéből származó frekvenciaeltolódást mérik, melynek az idő szerinti első integrálja íródik ki a digitális kijelzőre, mint elmozdulás.

A *Bay*-félele definícióból az következik, hogy a hosszúság elsődleges etalonja az idő etalonja, mivel a fény terjedési sebességét is definiáltuk, tehát nincs hibája. Ahhoz, hogy a „fény-mérőlécet" azaz egy nagypontossággal ismert hullámhosszúságú fényt használhassunk hosszmérésre, arra van szükség, hogy annak periódusidejét közvetlenül meg tudjuk mérni az atomórával mint etalonnal, mert a visszavezetettség csak így teljesül.

A mi esetünkre alkalmazva: a CIPM 1983-as ajánlását követően a CGPM 17. konferenciája „*Mise en Pratique*"-ban lefektette az ajánlott hullámhosszakat és azok bizonytalanságait a méter gyakorlati megvalósításához. Abban az időben a leggyakrabban a λ = 633 nm hullámhossz volt használatos, amit egy jódstabilizált gázlézerrel valósítottak meg. Ezen meghatározott hullámhosszakat és bizonytalanságukat a „*Consultative Committee for the Definition of the Meter*" (CCDM) kiadványában teszik közzé rendszeresen.

Ez azt jelentette, hogy Magyarország (OMFB Pályázattal) 1985-ben vásárolt egy, a méter-definíciót megvalósító és a Mise en Pratique-ot kielégítő $^{127}I_2$ abszorpciós vonalaira stabilizált, francia gyártmányú He-Ne gázlézert, amely akkor az „Országos hosszetalon" volt. Ma egy modernebb, de ugyanúgy $^{127}I_2$ abszorpciós vonalaira stabilizált amerikai He-Ne gázlézer a hosszetalon. Ez tehát nem abszolút, hanem összehasonlításos módszer.

Bay Zoltán az Országos Mérésügyi Hivatal lézeralapú összeállítását 1986-ban láthatta. A Thomson CSF gyártmányú jódstabilizált lézert a hullámhossz-összehasonlításhoz szükséges optikai rendszerrel a **25. ábrán** mutatjuk be.

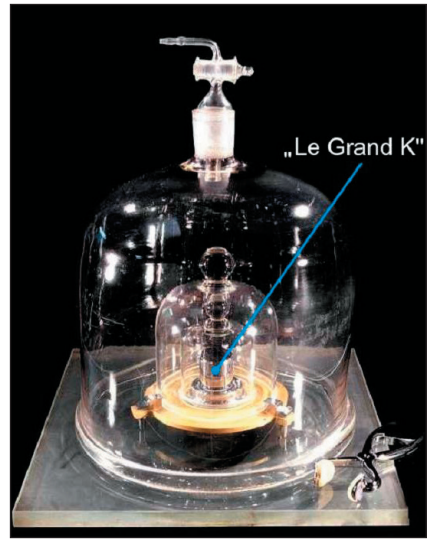
Az ellenőrzött lézerinterferométerek segítségével történő, elmozdulásmérésre visszavezetett hosszúságmérések egy nagy Zeiss optikai hosszmérőgépen, mint optikai padon történnek, melynek szánjára felszerelték az interferométer szögprizmáját (**26. ábra**).

Külföldi mérésügyi hatóságok modernebb eszközökkel, ún. fésűgenerátorral (comb generator; optikai rasztergenerátor) is rendelkeznek. Ezek a rendkívül bonyolult és drága berendezések femtoszekundomos lézereken alapulnak, amelyek alkalmasak széles frekvenciatartományban (tehát különböző színű) lézerek abszolút módszerrel történő leszármaztatására, frekvenciájuknak megmérésére.

A téma zárásaként helyett álljon itt – másodközlésből – egy, az új métermeghatározással kapcsolatos furcsaság (*Mérés és Automatika 1984/4.*). Miután az új definíciót bejelentették, egy magyar napilap *Csodabogarak* rovatában volt olvasható így: „- *Párizsból jelentik, hogy ezentúl a méter az a hosszúság, amit a fény 1/299 792 458 másodperc alatt megtesz...".* Nyilván a közreadónak fogalma sem volt a hír tudományos hátteréről és azt valamiféle tréfának vélte...

6. A kilogrammetalon

Jelen írásomban a platina-irídium méteretalon „édestestvéréről", a kilogrammetalonról is többször esett szó. Érdemesnek tartom kiemelni, hogy míg a hét SI alapegységből hat megnevezése szerint is *alap*egység, addig a tömegé a „kilo" prefixummal ellátott egység (kg). Holott a CGS mértékrendszerben még a gramm (g) volt a tömeg alapegysége, de az MKS-ben és az MKSA-ban már a kilogrammot definiálták.

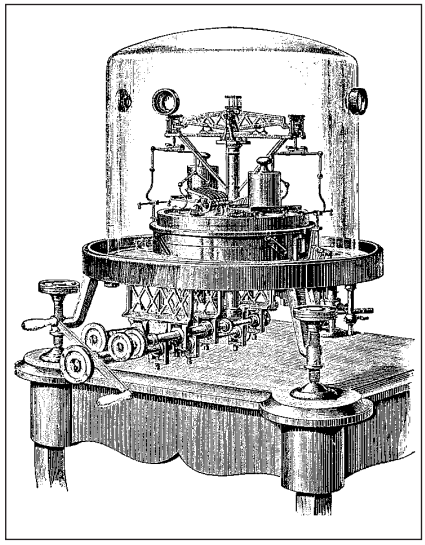


27. ábra. „Le Grand K", hármas üvegbúrában

A kilogrammot a legutóbbi időkig az 1875 óta használt, az 1889. évben, Párizsban megtartott 1. Általános Súly- és Mértékügyi Értekezlet által a tömeg nemzetközi etalonjának elfogadott, a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban, Sèvres-ben őrzött platina-irídium henger tömege képviselte. (Nagyon jó közelítéssel ekkora tömegű egy liter tiszta víz, +4 °C-on.) A gondozói csak „*Le Grand K*"-ként emlegették.

Kiviteli formája egy kb. Ø39×39 mm-es, lekerekített élű, tükrösített felületű henger. Mivel az elsőrendű etalon pótolhatatlan volt, rendkívül gondos bánásmódban részesítették, mind magának az etalonnak, mind az azt kezelhetővé tevő speciális fogónak a tisztítására is bonyolult procedúrát írtak elő. Az elmondottak a másodrendű, nemzeti etalonokra is érvényesek (Magyarország a 16-os számút birtokolja), de itt nem térek ki erre. Csupán a tárolására hívom fel a figyelmet: a különleges tartóba állított etalonhengert egy belső üvegbúra takarja. Az egészet egy külső üvegbúra veszi körül. Ezt a tárolási módot is az 1889-es konferencián rögzítették. Később egy harmadik üvegbúra is került a „Le Grand K"-ra (ahogyan az a **27. ábrán** látszik). Az alap-kilogrammot igen ritkán vették használatba. Egy trezorban őrizték, aminek a kinyitásához három kulcs kellett, mindegyikkel egy-egy munkatárs rendelkezett.

Sajnos, mindezek ellenére a metrológusok arra a következtetésre jutottak, hogy a Sèvres-i henger az elfogadása óta lassan mintegy 50 μg-ot



28. ábra. Kruspér vákuum-mérlege. (A Pallas nagy lexikonából)

veszített a tömegéből, az utóbbi években pedig mintegy 100 μg-ot „hízott”, különböző felületi rétegek kialakulása miatt! Ezek az értékek az elsőrendű etalonnak a nemzeti etalonokkal történt rendszeres összehasonlítása során, bonyolult számítások eredményeképpen adódtak. Érdekes, hogy a nemzeti etalonok esetében nem tapasztaltak ilyen mérvű tömegváltozást. Látható, hogy a „Le Grand K” tömegváltozásai 10^{-6} - 10^{-7}nagyságrendbe esnek.

Kruspér a kilogramm-alapmértékkel kapcsolatban is jeleskedett. Egy olyan, a kilogrammetalonok komparálására szolgáló, manipulátorokkal kívülről kezelhető, szimmetrikus kétkarú vákuummérleget tervezett, aminek az érzékenysége, 1-1 kg-os tömegekkel terhelve, 1 μg-ra tehető (**28. ábra**). A Gauss-féle tömegcserét is lehetővé tevő szuperprecíz – akkori szóhasználattal *szigorú* – mérleget egy bizonyos *Nemetz* bécsi műszerész készítette el, aki aztán gyártotta és forgalmazta is. Árjegyzékében 5000 forintért kínálta a „Kruspér-féle üresterű mérleget”.

29. ábra. Korszerű vákuumos tömegkomparátor (Mettler Toledo)

Kruspér ezzel a tömegkomparátorral elnyerte az 1885-ös antwerpeni világkiállítás aranyérmét.

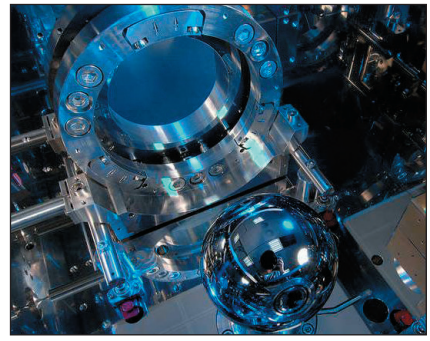
Egy korszerű, szub-mikrogrammos vákuumos tömegkomparátort láthatunk a **29. ábrán**.

A legutóbbi időkig tehát a tömeget nem sikerült a méteréhez hasonlóan, laboratóriumi körülmények között előállítható, reprodukálható formában valamilyen természeti állandóból levezetni, bár az ezzel kapcsolatos kutatások folytak. Egyes kutatók adott számú szénatom tömegét definiálták volna kilogrammként, néhány éve pedig a Peter Becker vezette Német Szövetségi Intézet Fizikai és Műszaki Bizottságának kutatásaiban egy 100 mm átmérőjű monokristályos szilíciumgömb atomjainak számából származtatták volna le a tömegegységet, de ez a módszer (sem) emelkedett törvényerőre. Annak kritériuma ui. az lett volna, hogy az Avogadro-állandó meghatározási bizonytalanságát $2{,}0 \cdot 10^{-8}$ alá vigyék, ami ez ideig nem sikerült. (Több kutató 2018-ra datálta a szilícium-tömegetalon elfogadását. Egy néhány évvel azelőtti kísérleti példány látható a **30. ábrán**.)

Ezzel kapcsolatban érdemes megemlíteni hogy kemény anyagokból viszonylag egyszerű technológiával gyárthatók rendkívüli geometriai- és méretpontosságú gömbök. Jól példázza ezt a *Gravity Probe B*, 2004-ben felbocsátott műhold szuperprecíz giroszkópja, ami nem más, mint egy néhány atomnyi pontossággal – ez mintegy 10 nm-es alakhibát jelent – megmunkált olvasztott kvarcgolyó. A golyót néhány atomnyi vastagságú nióbiumréteggel vonták be. A 2 K hőmérsékletű szuperfolyékony héliumban pörgő gömb elmozdulását interferométerrel mérték. Einstein szerint a gravitáció egyik hatása a téridő „görbítése”, amely pl. a Föld tömegvonzására is fel kell lépjen. A műhold giroszkópos mérései ezt 10^{-4} bizonytalansággal igazolták.

A golyó megmunkálásának végső fázisát a https://einstein.stanford.edu/Media/Gyro-polishing-flash.html videón megtekinthetjük.

Azóta lényeges előrelépés történt a kilogrammetalon ügyében is: elmondhatjuk, hogy a Grand K végleg nyugállományba vonult. 2017 novemberben fogadták el többek között a kilogramm új definícióját Versailles-ban az Általános Súly- és Mértékügyi Konferencián. Ezen a konferencián egyhangúlag



30. ábra. Etalonnak szánt szilíciumgömb (Leibniz Institute Berlin)

szavazták meg az SI (Systeme International d’Unites) mértékegységrendszer teljes revízióját. Az SI alapegységeinek – a méter, a kilogramm, a kelvin, a másodperc, az amper, a kandela és a mól – újradefiniálását követően az új szabályzat 2018. május 20-tól érvényes. Ez biztosítja, hogy a mértékegységrendszer hosszú távon stabil és konzisztens legyen.

A kilogramm új etalonképzése végül is nem az említett előzetes elképzelések, kísérletek mentén történt, tehát a modern kilogramm ugyanúgy nem egy megtestesült objektum, mint a méter, ill. mint az SI többi alapegysége. A kilogramm modern definíciója a Planck-állandóhoz, a kvantummechanika egyik alapvető állandójához kötött, amelynek jelenlegi elfogadott értéke: $h = 6{,}626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}}$.

A komparálás vákuumban dolgozó elektrodinamikus árammérlegen – ún. Kibble-mérlegen – alapuló berendezéssel történik. *Stephan Schlamminger* amerikai fizikus mondta: „Egészen addig, amíg a kilogrammot egy tárgyhoz mértük, nem sikerült a tömegmérést időtállóvá tenni. Nincs ugyanis olyan emberi kéz alkotta tárgy, amely ne változna, de a Planck-állandó, legalábbis a mai ismereteink szerint, örök.”

Azért az ember olyan, hogy szereti látni a tényleges kilogrammot

31. A kilogramm új, megtestesült formája: a szilíciumgömb

is, amit végül az említett szilíciumgolyó testesít meg, és a legtöbb hitelesítési feladat során egyszerűbben használható, mint a Planck-állandón alapuló bonyolult, kényes készülék. Búrába helyezett eredeti példánya a **31. ábrán** látható, amit Münchenben, a német állami mérésügyi intézetben, a Physikalisch-Technische Bundesanstaltban őriznek.

***

Végül köszönetet mondok a volt MKEH munkatársainak, *Kőszegi József* akkori főosztályvezető-helyettesnek és *Tomanyiczka Kálmán* metrológusnak a rengeteg hasznos információért, és hogy lehetővé tették számomra az intézmény hosszmérő laboratóriumában való fényképezést (2016-ban). Igazi élmény volt! Szintén megköszönöm a Magyar Nemzeti Múzeum munkatársainak, *dr. Tomka Gábor* főigazgató-helyettesnek és *dr. Ridovics Anna* művészettörténésznek a kért fotók rendelkezésemre bocsátását.

Irodalom:

1. Pálinkás Tibor: A méter sztori; Rádiótechnika Évkönyve 2000, 146-149. o, 200. o.
2. Pálinkás Tibor: Már tudjuk, hogy merre hány méter · A méter Sztori; A Magyar Műszaki és Közekedési Múzeum Évkönyve V. (2016); 359-389. o.

Egyéb:

Makkai László szerk.: Fejezetek a magyar mérésügy történetéből (Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, 1959)
Dr. Rédey István: A geodézia története (Tankönyvkiadó, 1966)
Fehér Imre–dr. Horváth Árpád: A fizika és a haladás I. (Tankönyvkiadó, 1963)
Tisza Sándor–Tőkés Szabolcs (Mérés és Automatika 1968/7. p.: 319)
Dr. Petrik Ferenc (Mérés és Automatika, 198/4. p.: 148.)
Dr. Bölöni Péter A méter ötödik definíciója és ennek hatása... (Mérésügyi Közlemények 1984/4. p.: 87)
Dr. Fodor György: Mértékegység-lexikon (Műszaki Könyvkiadó, 1990)
Francis S. Wagner: Bay Zoltán atomfizikus, az űrkutatás úttörője (Akadémiai Kiadó, 1994)
Kovács Gábor szerk.: További fejezetek a magyar mérésügy történetéből (OMH, 1996)
T. J. Quinn: A Nemzetközi Mértékegység-rendszer alapegységei, azok pontossága, leszármaztatása és a nemzetközi visszavezethetőség (II.) (Mérésügyi Közlemények 1997/2.)
Dr. Pataki Péter: Metrológiai rendszerek (Elektrotechnika 2000/10.)

Különböző netes források; a képek nagy része is innen származik. Tekintettel a lista terjedelmére, a részletes hivatkozásokat elhagytam.

LED-fény – de milyen?!

Lambert Miklós okl. villamosmérnök, lambert@milambi.hu

Néhány évvel ezelőtt a LED-es fényforrások (sokak számára elérhetetlenül) drágának tűntek, elfogadtuk a 40 W-os izzólámpákat a csillárunkba (mert a 100 W-osat már nem is gyártották), és próbáltuk elfogadni, hogy jó nekünk a kompaktfénycső, vagy az esztétikát jócskán nélkülöző hosszú fénycső. A neves cégek lassan és megfontoltan álltak át az új fényforrásra, az áttörést a kínai dömping hozta meg, és egyúttal az 50 000 órás élettartamban merészen bízó hitünkben való csalódást is. Mára a piac letisztulni látszik, az izzólámpát lassan eltemetjük, a piacon a kompaktfénycső és a LED osztozik, nagyjából azonos áron, a LED-es fényforrás minőségi javára. De vajon valóban mindegy, csak LED legyen? Hát nem!
Alábbi írásom a tavalyi évkönyvben *közzé tett LED-es cikkem kiegészítésének tekinthető.*

Fény, emberi látás

Szakmabelieknek talán felesleges az alapoknál kezdeni, de a későbbi következtetések levonásához indokoltnak látjuk néhány alaptétel rögzítését. Az emberi látás a szemünkkel kezdődik, amely egy precíz optikai rendszer, de az „adatfeldolgozás” egy komplex biológiai folyamat, amelybe (egyelőre) nincs beavatkozási lehetőség, csak az optikába. Ezt meg is tesszük, szemüveg, nagyító, látcső stb. segédeszközökkel, sőt, ma már a szemlencsét is kicseréljük (szürkehályog), az idegrendszeri „beavatkozás” inkább gyógyszeres.

Látásunk a megvilágítás alapján működik, a fényforrások által kisugárzott fény megvilágítja a környező tárgyakat, amelyek a fénysugarak egy részét elnyelik, más részét hullámhossz-függően tükrözik, kevés kivétellel az elnyelt sugárzás szekunder sugárzást vált ki. Az emberi szem mindhárom fényt látja (amennyiben a 380…780 nm-es hullámhossz-tartományba esik), de a tárgyakról visszavert fény (vagyis a tárgyak színe) erősen függ a megvilágító fényforrás hullámtartományától.

A természetes nappali fény a Nap sugárzásából ered, amelynek spektruma a napszak folyamán változik, reggel az UV tartományban gazdag kékes színű (>6000 K színhőmérsékletű), a lenyugvó nap pedig IR tartományban gazdag (<2500 K színhőmérsékletű). Láthatóan már a természetes megvilágításban is napszaktól függően más-más színben látjuk a világot! A természetes fényt kiegészíti a mesterséges fény, mert az ember életterét kieterjeszti a sötét időszakokra is, és itt kapcsolódik a téma cikkünk tartalmához.

A megvilágításhoz a fényforrás spektrumán kívül a sugárzás térbeli eloszlására és a fény színhőmérsékletére is szükség van. A mestereséges világítóeszközök fejlesztésénél mindezekre figyelemmel kell lenni [1].

Megvilágítás térbeli eloszlása

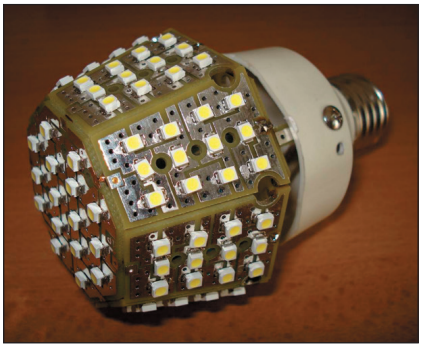
A Nap sugárzása olyan messziről jön, hogy az emberi környezet szűk méretei között méltán tekinthetjük párhuzamosaknak a fénysugarakat. Nem így van a mesterséges fényforrásoknál. A régmúlt időkben alkalmazott fáklya, mécses, gyertya és egyéb égésen alapuló fényforrás pontszerűnek fogható fel, a körülötte levő teret gömbcentrikusan világítja meg. Ha egy gyertyából indulunk ki, akkor könnyen belátható, hogy a láng körüli teret egyenletesen világítja meg majdnem 360°-ban, kivéve a gyertya szárát, ami mintegy 20…30°-ban kitakarja. A nagy terek gyertyával való bevilágításának paradoxona, hogy a mennyezetről lógó csillárba tették, és éppen az alatta levő teret nem világította meg közvetlenül, hiszen lefelé lógó gyertyaláng nincs. (Igaz, hogy a rakétahajtómű nagy fényességet árasztó kilövelő sugara függőlegesen lefelé irányul, vagy a lánghegesztő acetilén lángja is irányulhat lefelé, de ezek nem tartoznak a világítóeszközök kategóriájába). A fény térbeli eloszlása, a sugárzás irányítása tehát már az ókorban és középkorban is foglalkoztatta az embert, megoldást csak a mennyezet megvilágítása és az onnan történő reflexió jelenthette. Nagy áttörést jelentett az izzólámpa, amely szintén pontszerű fényforrás és majdnem gömbsugárzó, de tetszőleges irányba állítható, és fényvetőkkel, homorú tükrökkel és optikai eszközökkel, lencsékkel fénye irányítható, például műszerekben fókuszálható, párhuzamosítható. A mai lámpatesttervezők is élnek ezekkel a lehetőségekkel, modern fényforrásokra alapozva.

A villamos működtetésű fényforrásoknál a tervezők nagy lehetőségekhez jutottak, bár a pontszerű fényforrások alkalmazása mind a mai napig alapvető. Legfejlebb törekvések tapasztalhatók a természetes megvilágítás közelítésére. Ha az ablakon besugárzó (párhuzamos) napfényt hasonlítjuk a lámpákból, csillárokból kiáramló fénysugarakhoz, a törekvéseknek nem sok hatását tapasztaljuk. A lámpatest díszítő elem is, bútordarab is, ezért nehéz elszakadni tőle. Találkozunk már mennyezeti résben elhelyezetett fénycsöves, vagy újabban LED-es világítással, amely hosszú vonal mentén, a fehér fal fényvezetésével egyenletesen világítja be a szobát, nem káprázunk a pontszerű fényforrás fényétől, nagy előadó termekben pedig nagyfelületű mennyezetvilágítási táblákkal, falakkal világítanak, de ez nem a lakószobánk. Hol is tartunk manapság?

A kompaktfénycsövek (még ne temessük el) jó alternatívát adtak az izzólámpák kiváltására, de egyéb rossz tulajdonságaik miatt (főként a környezetszennyezés és a spektrum tartalma) nem perspektívikusak. Nagyszerű alternatívának tűnt a LED, de a felgyorsuló türelmetlen világban rossz irányba ment a fejlesztés. A világítási célokra szánt LED-et úgy gyártják, hogy a kéken sugárzó csipet miniatűr reflektorba helyezik, köré szekunder sugárzó fényport helyeznek, és szilikongumi lencsével védik, vagy epoxi házba tokozzák (ez utóbbi nem igazán perspektívikus),

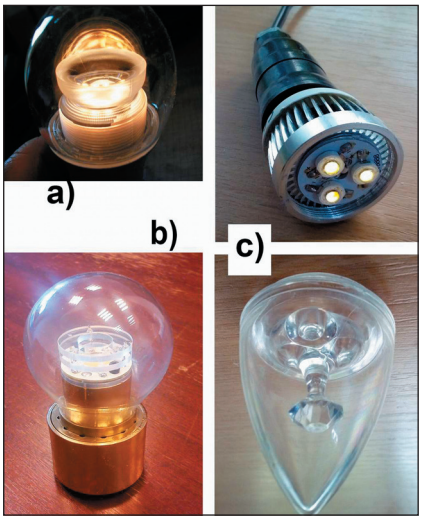
1. ábra

sugárzási szöge vagy keskeny (~30°), vagy széles (~130°), ebből tessék világítótestet konstruálni! A fénypor színe gerjesztés nélkül sárgásnak tűnik (ez tapasztalható az SMD tokozású LED-eknél, bár az epoxi tokozott LED-eknél



2. ábra

ez nem is látszik), de a működés során gerjesztett állapotba kerül az anyag, a kék sugárzás hatására sárgás-zöldes hullámtartományban sugároz, ami keveredik a kékkel, és az eredő egy fehér spektrumú sugárzás lesz.



3. ábra

Az első időkben az *izzólámpa* mintájára megpróbáltak gömbsugárzót építeni, a már bevált „villanykörte” formában, hogy nem kelljen eldobni a jól megszokott világítótestjeinket. Ez a piacpolitikai trükk bejött, megvettük 10-szer annyiért a „LED-izzót” (ettől a szótól eleve írtózom), amiről kisült, hogy gyengébb megvilágítást ad, mint izzólámpa elődje (pedig a dobozon rajta van, hogy pl. 40 W = 4 W; matematikai nonszensz)! A felirat pedig fizikailag nem csalás, mert fotométer-gömbben a fényáram ugyanakkora, viszont nem úgy világítja meg a környezetet, mint az izzólámpa.

Hogyan alakultak ezek a „villanykörte” formák? A vezérfonalat az A120 típusú körte-forma adta, az Edison fejjel (ami egy praktikus zsinórmenet, könnyű gyártani is, becsavarni is). A cél az volt, hogy a jól bevált világítótesteket ne kelljen eldobni, csak a fényforrást kicserélni. Ehhez a sok kis LED-ből álló világítótestet olyan gömbhéj-szerű panelra kellett szerelni, hogy a lámpa lehetőleg jó gömbsugárzó legyen. Erre született meg a még manapság is elérhető „kukoricacső” alakzat, amelyet az **1. ábra** mutat.

A viszonylag könnyen gyártható lámpák alapvető hibája, hogy a pontszerű LED-ek káprázta tók, egy fényoszlató opál búra viszont akár 30%-ot is elvesz a fényáramból, nem is alkalmazzák. Igénytelen helyeken elmegy (pl. folyósóvilágítás, pince stb.), csillárba ne tegyük! Fejlesztési kísérletek folytak gömbhéj-szerű hordozópanel-elrendezéssel, de komplikált, drága gyártása miatt nem terjedt el (**2. ábra**).

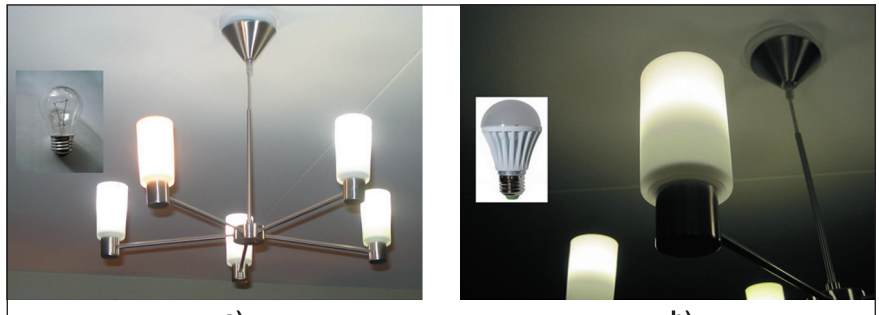
Ekkor más trükkhöz folyamodtak a fényforrás-fejlesztők: prizmatikus üveg- vagy műanyagtestet helyezve a fény útjába, gömbsugárzó pontszerű fényforráshoz jutunk (**3. ábra**).

A **3.a ábra** egy svéd gyártmányú lámpában körgyűrű kialakítású műanyag prizma van, amely mint-

4. ábra

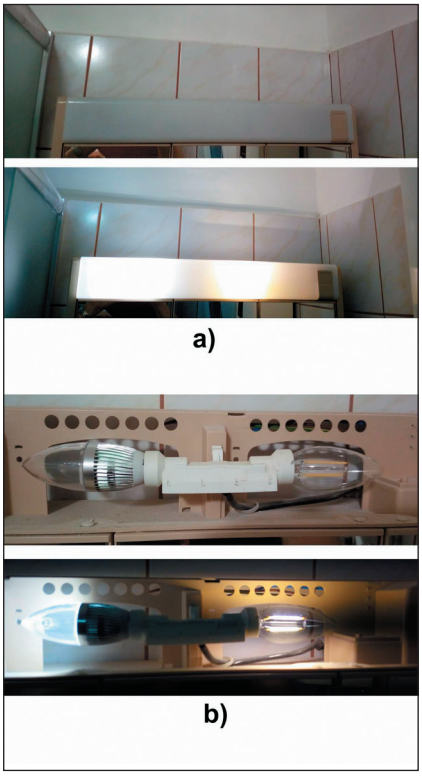
egy 300°-ban szórja körbe a fényt. A **3.b ábrán** egy magyar fejlesztésű, lapos prizmás fénykibocsátású lámpa (sok egyéb áramvezérlő tudással felszerelve) a bécsi operaház csillárjában pótol több száz izzólámpát. A **3.c ábrán** pedig három, a lapos tányérra szerelt LED műanyag lencsén keresztül világít meg egy prizmatikus „üvegtestet” (természetesen ez is átlátszó műanyagból fröccsöntve), amely oldalirányba és hátrafelé is sugároz, a környezeti porosodás okozta elmattulás ellen átlátszó műanyag búra véd. Egyik prizmatikus gömbsugárzó sem terjedt el a világban, mert addigra a síkpaneles megoldás tarolta a piacot (**4. ábra**).

A legegyszerűbb a gyártás egyetlen alumínium hordozópanelen, amihez hűtőborda is könnyen illeszthető, előtte pedig félgömb-héjon fényszóró diffúzor réteg gátolja a káprázást [2], igaz, 60…80 lm/W hatásfokkal, amíg korszerű fényforrások 100 felett vannak (120…140 lm/W-os LED-eket alkalmazva). Manapság a boltban kapható fényforrások nagy része ezt a belső felépítést követi. Alapvető hátránya, hogy a lámpa 180°-ban sugároz, hagyományos csillár formájú lámpatestbe ne építsük be, mert a megszokott megvilágítás-képet rontja! Az **5. ábra** mutatja, hogy a csillárban felfelé álló



a) **b)**

5. ábra



6. ábra

fényforrás izzólámpa esetén körkörösen besugározza a szobát, előre (azaz felfelé) sugárzó LED-ek esetén csak a mennyezetet világítja meg, a szoba pedig a plafonról kapja a reflektált fényt, ami lényegesen kevesebb, és a mennyezeti festék befolyásolja a színhatást.

Az izzólámpa visszaidézésének irányában fejlesztették ki az izzószál-hatású LED-es világítóeszközt [1]. A vékony szál-formájú COB LED izzószál hatását kelti, angol elnevezése után „filament" LED-égőknek is nevezik. Az alkalmazott LED-csipek színhőmérsékletét a gyártó elvileg tetszőlegesen választhatja, mégis a piacon a 2700…2800 K-es változatok érhetők el (talán éppen az izzók nosztalgiája miatt), ritkán fedezhető fel nappali fényű (~4000 K-es) változat.

Hasonló rossz alkalmazásra láthatunk példát a **6. ábrán**. Fürdőszobai pipereszekrény felső részét világíthatóra alakították ki, diszperziós ablakkal, amelybe vízszintesen gyertya-izzók csavarhatók, borotválkozás, fésülködés, szépítkezés megvilágítására. A bal oldali foglalatba 180°-os LED-es fényforrást csavartunk, jobb oldali részébe az izzószálas múltat visszaidéző „retro" LED-es fényforrást. Láthatóan egyik változat sem pótolja az eredeti izzólámpás fényviszonyait.

A megoldással akkor érnénk el olyan hatást, hogy a teljes búra egyenletesen fehér fényt sugározzon, ha „távoli fényporos" kialakítást választanánk, a fényforrások intenzív kék, vagy UV spektrumban sugároznának, és a búra bevonata térfogati diffúziós elven szekunder sugárzó fényporos réteggel lenne bevonva [2], [4]. Sajnos, ilyen fejlesztésekről egyelőre az USA-ból tudunk. Ma még aránytalanul költséges megoldásnak tűnik, bár kínai fejlesztésekről is hallani.

A jelennél maradva, a megvilágítás tárbeli eloszlását illetően a káprázás jelenségével érdemes foglalkozni [1]. A matematikai összefüggéseket Schanda professzor tanítása alapján érthetjük meg [3], összefoglalva, ha pontszerű fényforrás nagy fénysűrűségű fénye kis (néhány fokos) szögben éri szemünket, akkor a káprázás jelenségével találkozunk. Ez a LED-ekre jellemző. Ez lehet pszichológiai típusú, ún. *zavaró* káprázás, amely csak kényelmetlenséget okoz a látásban, a zavaró fény mellett nem látjuk tisztán a megfigyelendő tárgy részletét, de lehet *rontó*, azaz fiziológiai káprázás, amely annyira elvakít, hogy nem látjuk a környezetet. Ez már veszélyes (pl. szemben jövő autó fényszórója a sötétben), megvilágítás tervezésénél meg kell gátolni, számítható, mérhető [1], [3]. A rontó káprázás LED-es világításnál sokszor jelentkezik, sok emberben pl. azért alakult ki negatív vélemény a LED-es világításról, mert keserű tapasztalatot szerzett valamikor. Egy rontó káprázásra mutatunk példát a **7. ábrán**, egy italeladó pult megvilágításánál.

A világítótest egy függőlegesen beépített LED-sor, amelynél a fénypontok elemei eleve nincsenek diffúzorral oszlatva, de ez még nem okozna bajt, ha takaróléc mögé építik be, hogy csak a sörösdobozok megvilágítását szolgálja. A nyitott beépítés során viszont a vásárló első sorban a vakító fénysort látja, ami egyébként is zavaró, de még rosszabb, hogy a rontó káprázás miatt az árfeliratok sem olvashatók tisztán. Ha a hasonló LED-soros megvilágítást takaró léc mögé helyezik, akkor az áru helyes megvilágításban látható (**8. ábra**).

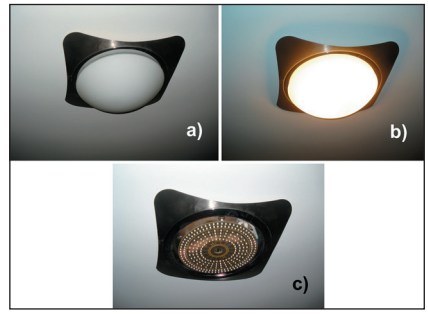
Ennyit a pontszerű megvilágításról. Örvendetes tény, hogy lámpaüzletekben bóklászva egyre kevésbé találkozunk csillárokkal, a falikarok is átalakulóban vannak, fokozatosan „vonulnak be" a fal, mennyezet síkjába. Az azonosítatlan repülő tárgyak fényeinek mintájára alakult ki az „ufólámpa" forma, amely lapos, jól illeszkedik a mostanság kisebb szobamagasságokhoz, a mennyezet síkjából alig emelkedik ki. Ha magas a szoba (régi ház), érdemes álmennyezetet csináltatni, amelybe könnyű akár mélysugárzó lámpákat beépíteni, bár ez nem iagzán a belsőséges otthoni környezet, hanem inkább egy kiállítás, vagy munkahely hangulatát kelti. Tény, hogy ezekben a világítótestekben előnyösen alkalmazzák a LED-eket, hiszen döntően 180°-os irányban kell sugározni. A sugárzási térszögön kívül további lehetőségek vannak pl. színhőmérséklet állításra (lásd később) stb.

7. ábra

Lapos elrendezésű LED-es panelekből magunk is összerakhatunk lapos mennyezeti világítótestet. Erre mutatunk néhány példát. SMD LED-eket

8. ábra

9. ábra



11. ábra

tartalmazó paneleket akár FR4-es vagy alumínium-magú nyomtatott huzalozású lemezen amatőr, vagy kisüzemi szinten is előállíthatunk, (beforrasztása kézi erővel némi gyakorlatot igényel, de vannak kisüzemek, amelyek újraömlesztéses technológiával legyártják). Egy nagy áruházban eredetileg kínai gyártmányban, majd mostanában magyar (Somogyi) csomagolásban meg is vásárolhatjuk (**9. ábra**).

Az amatőr számára a nagyobb problémát a lámpatest okozhatja, erre „olcsó" megoldás egy Edison lámpafoglalatokkal felszerelt kész lámpa, amelyből a foglalatokat kiszereljük, helyébe kerülhet LED-es panelünk. Erre gondoltak a kínai kostruktőrök is, mert ez a panel is egy lámpafoglalatoktól megfosztott ufo-lámpatokba könnyen beszerelhető, 3 db tapadómágnessel rögzíthető, a 230 V-os tápellátás sorkapocsba köthető.

Ilyen módon a szerző több mennyezeti lámpát rakott össze kevés szerelési munkával és meglehetősen olcsón. Ezekből mutatunk be néhányat a következőkben.

A **10. ábrán** egy népszerű mennyezeti lámpa megoldása látható. A matt üveglap jó fényszóró, a káprázástól megóvja a szoba lakóit, bár mintegy 20%-nyi fényáram-veszteséggel számolhatunk. Az üveglapok közötti rés jó szellőzést ad. A LED-es panel FR4-es kétoldalas lemezre készült, 2×128 db. SMD LED-del (3528 tokozású, 30 mA munkaáramú). A **10.a ábrán** a lámpa összeszerelve látható, a **10.b**-n világító állapotban, a **10.c ábra** a LED-panel elhelyezését, a **10.d** pedig a tápegységet mutatja.

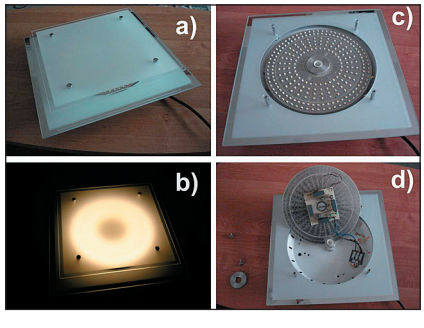
Tápegysége 4×1 µF-os kondenzátor-előtétű hálózati egyenirányító. *Felhívjuk a figyelmet, hogy a lámpa a hálózattal galvanikus kapcsolatban van, nincs érintésvédelem, bár a mennyezetre szerelt lámpába úgysem lehet belenyúlni, szereléskor pedig vigyázni kell!*

Ugyanezen panel egy fémházas ufolámpatokba beépítve is jól működik. Ezt láthatjuk a **11. ábrán** mennyezetre szerelve, majd világító állapotban, ill. a LED-panel belsejével.

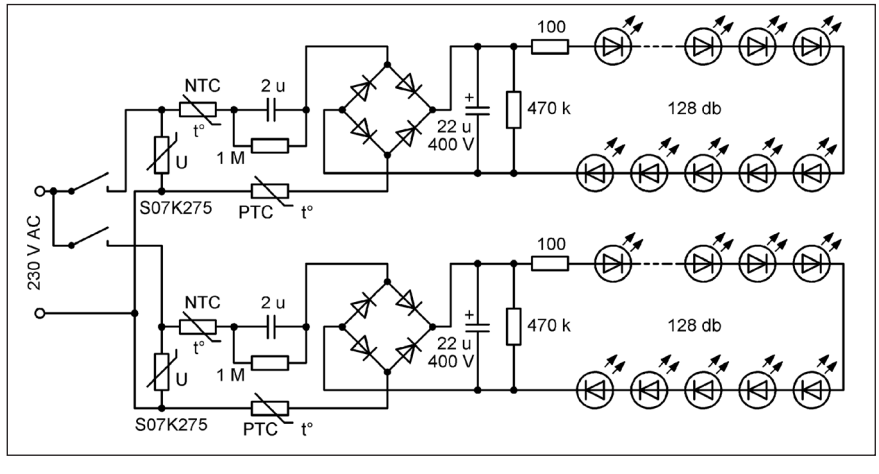
A kapacitív előtétű tápegység kapcsolását a **12. ábra** mutatja. A kondenzátoros előtét kapacitása (0,5…2 µF) a soros LED-ek számától és a meghajtó áramtól függ, de ügyeljünk arra, hogy a kondenzátor hálózati üzemre ajánlott típus legyen (pl. Vishay, Epcos/TDK: X1, X2, Y1). Ez a tápegység nem igazán áramgenerátoros, a hálózati feszültségváltozásokat kiegyenlíti, de pl. 115 V-ról nem üzemel, mint a kereskedelemben kapható legtöbb LED-fényforrás (bár nálunk nincs is erre szükség). A LED-ek a körtárcsa alakú panelen két részben helyezkednek el, a belső telített körben és a külső gyűrűn, amelyhez két meghajtó áramkör tartozik, így lehetőség van hagyományos kétáramkörös csillárkapcsolós működtetésre, az alkalomnak megfelelő fényerősség kiválasztására. Az áramkör tartalmaz varisztoros túlfeszültség-védelmet és termisztoros bekapcsolási túláramvédelmet is. A tápegység gyenge pontja az elkó: ha a LED-es lámpa 50 000 órás élettartamát tekintjük, ezért célszerű 105°C-ra ajánlott gyártmányt választani.

Korszerűbb, nagyobb fényerősségű LED-eket alkalmazva alumínium szerelőlapra forrasztottunk 36 db-ot az 5630-as tokozású 150 mA-es típusból. Hasonló, lámpafoglalat-átcserélési technológiával készült a **13. ábrán** látható típus (**13.a ábra**: panel és tápegység, **13.b ábra**: búrás lámpa). Ez tokozott tápegységről működik. Megjegyezzük, hogy nagy gyártók meglehetősen sok variációban gyártanak LED-meghajtó tápegységeket klímaálló tokozásban is, ha az amatőrnek nincsenek ilyen lehetőségei.

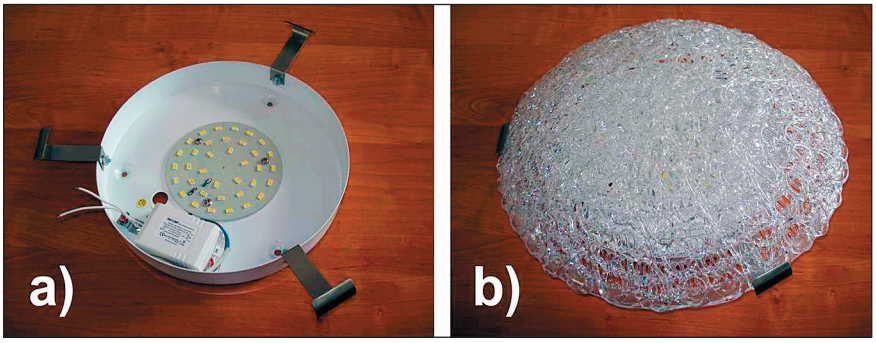
A tápellátás kérdése egy amatőr számára nem jelenthet gondot; három



10. ábra



12. ábra



13. ábra

ajánlatunk is van. Az első a legkényelmesebb, készen vásárolhatunk hálózati LED-meghajtó konvertert [5], [7], de magunk is készíthetünk áramgenerátoros kimenetű tápegységet. Ha a lámpát érintésvédelmi szempontból tokozzuk, akkor a **13. ábra** szerinti kapcsolás előnyösen használható, nagyon megbízható (ismerve a készen kapható LED-es fényforrások meghibásodási statisztikáját, amelyben legtöbb esetben a tápegység a hibás).

Ha valódi áramgenerátoros tápegységet akarunk építeni, az internet hatalmas tárházzal szolgál, bár legtöbb esetben kis ferritmagos transzformátorra és nagyfeszültségű teljesítménytranzisztorra van szükség (pl. flyback konverter). Többek között ajánljuk a kínai SM2082C IC-t, amelyben mindezen „tudomány” integráltan található [6], egy egyszerű kapcsolást mutat a **14. ábra**.

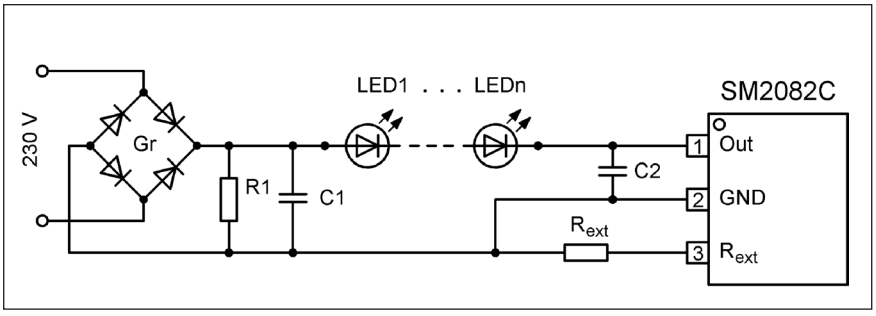
Az R_{EXT} előtétellenállással állítjuk be a kívánt LED-áramot: R_{EXT}= 0,6/ I_{LED}. Az ellenállás értékét ohmban kapjuk, ha a LED áramot milliamperben írjuk.

Integrált LED meghajtók fejlesztésében és gyártásában sok cég vesz részt, sok esetben meglehetősen bonyolult áramkörökkel. Egy közepes nagyságú, de hatékonyságban nagyra értékelhető cég a szilíciumvölgyi Power Integration [15], amelynek áramköreivel eredményes tervezéseket végeztünk. A **15. ábrán** az LNK306PN 8 lábú IC-vel mutatunk be egy kapcsolást.

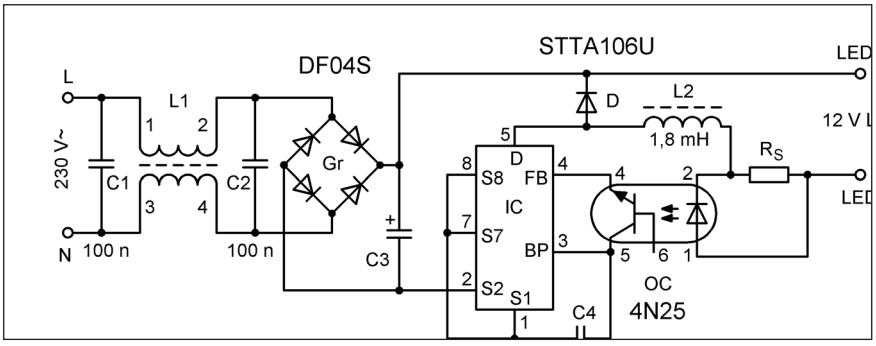
Az áramkör az egyenirányított feszültséget (átlagosan 310 V-ot) az áramkörbe integrált MOSFET-tel indukti vitáson keresztül kapcsolja rövid impulzusidővel a LED-sorra (ami célszerűen COB-LED), az induktivitásban tárolt energia a gyors dióda (Shottky-dióda) kisül, majd a következő impulzussal folytatódik az áramfolyás. Az áram nagyságát a söntellenálláson mérhető feszültség optocsatolón keresztüli visszacsatolása állítja be. Ez az áramkör 350 mA-es áramot képes a LED-en átfolyatni, ami (gyártmánytól függően) mintegy 1000 lm fényáramot termel. A mi megvalósításunkban egy 150 W-os halogén izzócsövet helyettesítve, annak tokjába beépítve, egyenértékű reflektorként működik. Az 55×20 mm-es nyomtatott huzalozású panelen megépített áramkör kis helyen elfér, hűtést nem igényel. A **16.a ábra** mutatja a huzalozási tervet, a **16.b** a beültetett panelt, a **16.c** pedig a kész áramkört. Az induktivitások (zavarszűrő és energiatároló tekercs) a Würth-től származnak [16].

Az áramkör egyetlen negatívumaként említhető, hogy a hálózattal galvanikus kapcsolatban van, tehát beépítését szigetelten kell megoldani, az érintésvédelmi szabályoknak megfelelően. A nagy meredekségű áramkapcsolás termelhet zajt a hálózatra, ne spóroljuk meg a bemeneti szűrőt!

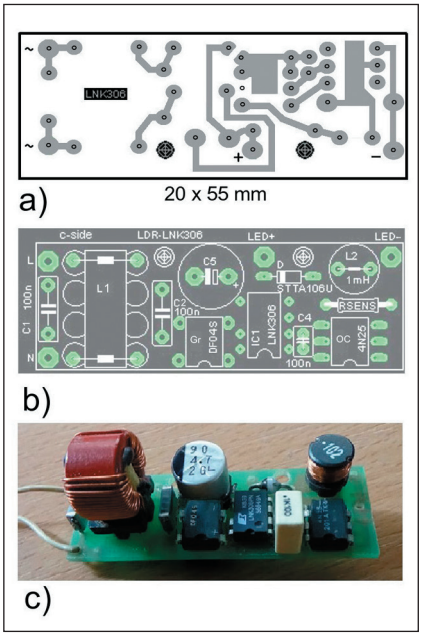
A cég újabb áramkörei további lehetőségeket mutatnak. A **17. ábrán** a LYTSwich áramkörcsalád legkisebb tagjával, az LYT0006P tokkal láthatunk LED-meghajtó kapcsolást, amely kitűnik egyszerű felépítésével. A chipbe ugyanúgy beintegrálták a MOSFET



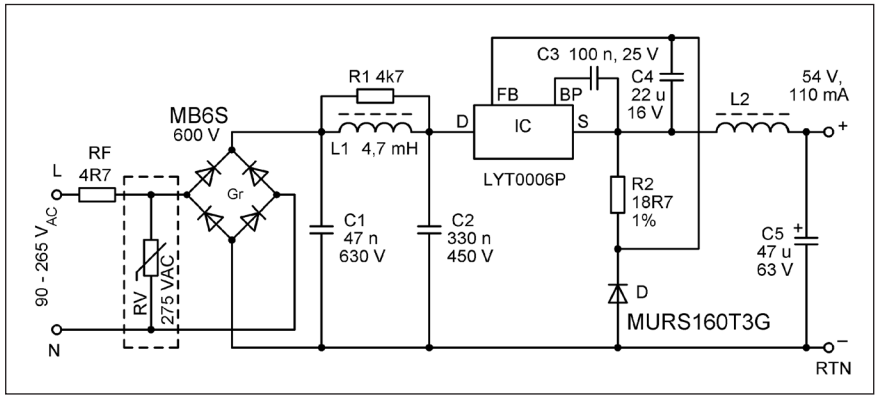
14. ábra



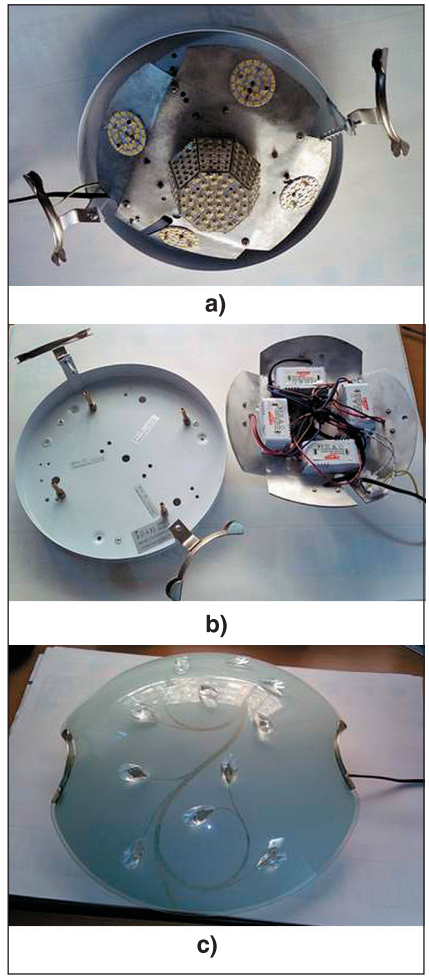
15. ábra



16. ábra



17. ábra



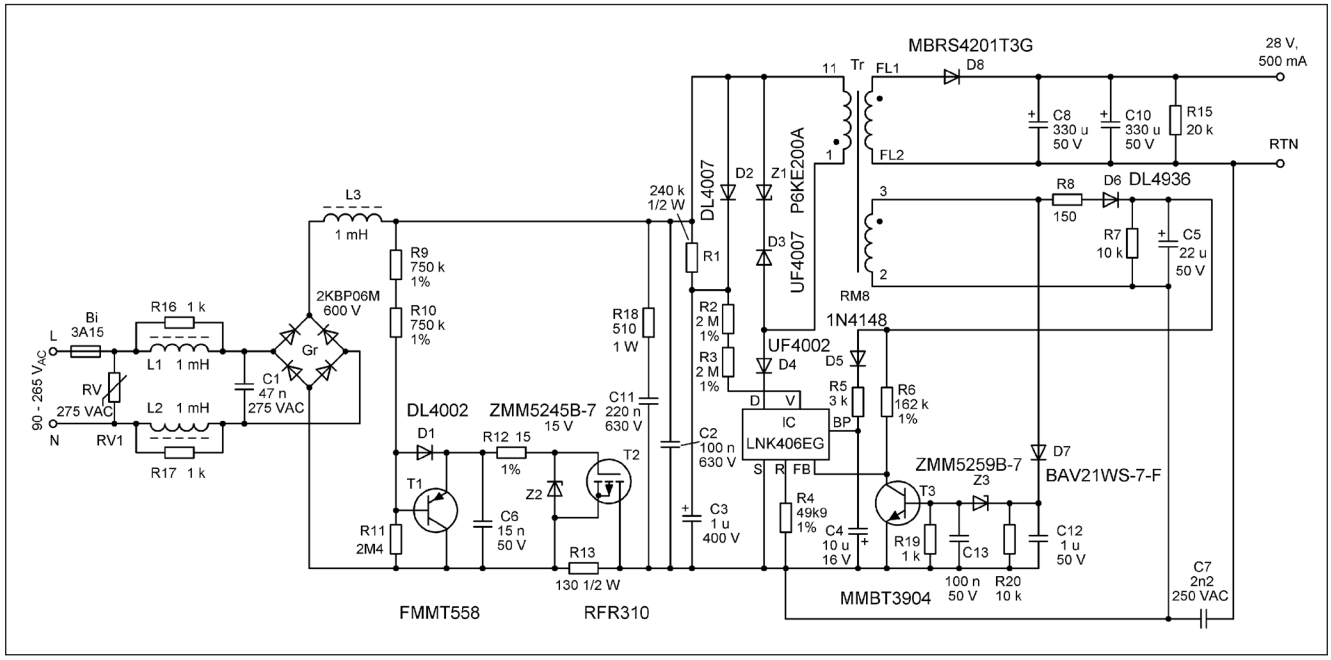
19. ábra

teljesítménykapcsolót, és a mindössze 4 kivezetéses áramkör nem igényel külön hűtést a max. 110 mA-es kimeneti áramhoz. További előnye, hogy nem igényel elektrolit kondenzátort az egyenirányító kimenetére, ami méretben, és főleg megbízhatóságban óriási előny.

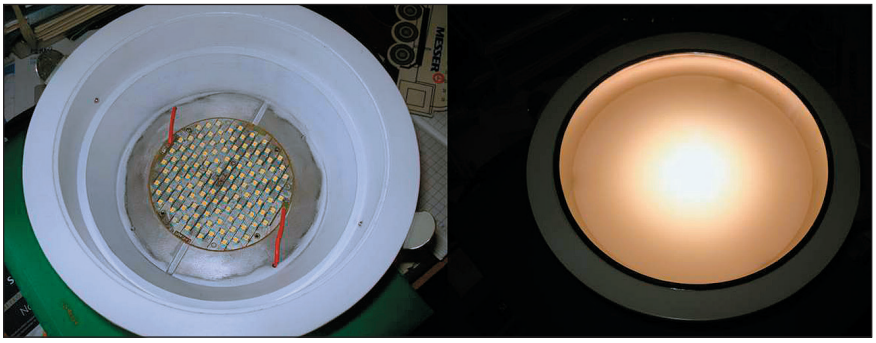
Az amatőrködésre hajlamos olvasók (nem kevesen) kedvelik az igényesebb áramköröket, amivel további kényelmi feladatok kielégíthetők. Ilyen a fényerősség vezérlése. Az izzólámpás időszakból ismert triakos fényerővezérlők azonban általában LED-es világításnál nem működnek, kellemetlen villódzássá alakul a potenciométer tekergetése során a világítás. Ma már néhány LED-nél kiemelik, hogy triakos fényerővezérlésre alkalmasak. A **18. ábrán** bemutatott kapcsolás szerint a Power Integration LinkSwitch-CH áramkörcsaládjának LNK406EG IC-jével olyan áramkört építhetünk, amely ezt a feladatot meg tudja oldani, nem kell eldobni régen megszokott triakos szabályozónkat.

Nagyobb szobák világítására nagyobb méretű lámpatestek kellenek. Az előzőkhöz hasonlóan lámpafoglalatokkal felszerelt mennyezeti ufolámpabúrába szerelt LED-es fényforrásokból összeállított fényforrást mutatunk a **19. ábrán**. A négy lapos sugárzópanel GU-10-es foglalatú lámpa LED-es panelja, egyedi áramgenerátoros meghajtókkal táplálva, a középső a 2. ábrán bemutatott gömbsugárzó, kapacitív áramgenerátoros meghajtással (**19.a ábra**). A **19.b ábrán** a panel hátoldalán találhatók a tápegységek. A **19.c ábra** a tokozott világítótestet mutatja. Teljes fényárama 3500 lm, közepes szobát rendesen megvilágít.

Nem annyira a lakószobában, inkább közösségi helyiségekben, előadó-



18. ábra



20. ábra

termekben előnyösen alkalmazhatóak a mélysugárzó lámpák. Kisülőcsöves változatuk fényes karriert futott be, bár a sötét folyosón villogó és kialvó lámpák látványa nagyon illúzióromboló, kiváltképpen, ha a rövid élettartam miatt kialvó fényforrások cseréjét ellátó karbantartó személyzet későn veszi észre a hibát. LED-es változatuk élettartama sokszoros, a meghibásodás pedig többnyire tápegységhibából ered. Egy hazai fejlesztésű mintadarabot a **20. ábrán**, a kereskedelemben elérhető kínait a **21. ábrán** láthatjuk. A magyar

21. ábra

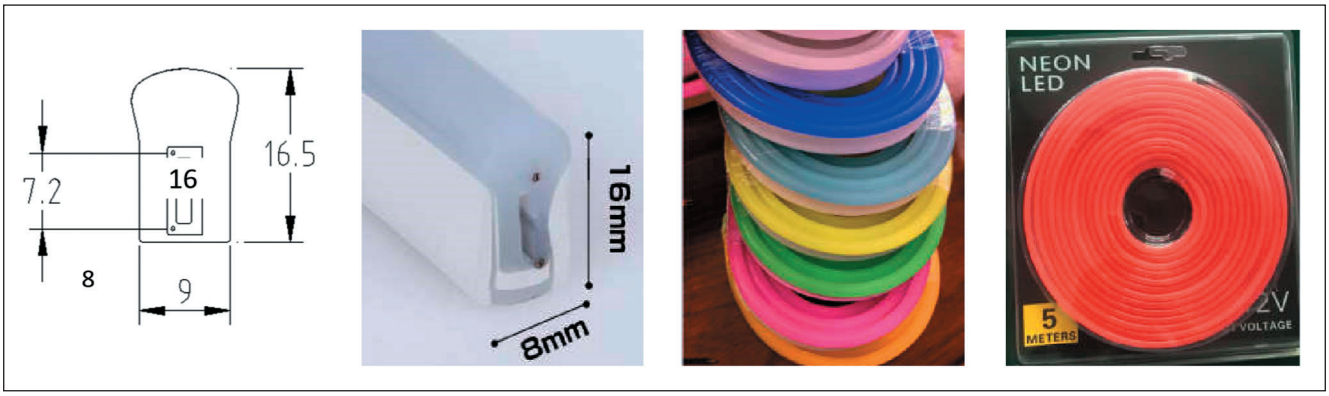
fejlesztésről annyi pozitívumot mondhatunk, hogy a nyomtatott huzalozású LED-es panel a présalumínium tokozat aljára Hernon-ragasztóval van beragasztva [10], ami a jó hőátadáson kívül 2500 V-ra szigetel, tehát kondenzátoros előtétű tápegységről működtethető, a takarólap pedig Fusion Optix térfogati diffúzor, legfeljebb 5%-os fényáramveszteséggel [2].

A LED-es világítóeszközök bemutatásakor nem feledkezünk meg a széles körben kedvelt LED-soros világításról. Talán a fénycsövek LED-es utánzása révén alakult ki, hogy az SMD tokozású chipeket lehet hajlékony szalagra is forrasztani, hiszen a hőálló műanyag fólián is lehet rézfóliaréteg, amelyen – a normál szerelőlap technológiával – készíthető huzalozás. 3 LED sorbakapcsolása esetén mintegy 10 V-nyi áramkorlátozott tápellátás szükséges (fehér LED-eknél), így szinte „világszabvány”, hogy 12 V-os tápegységről hajtják meg, 50…100 ohmos SMD soros ellenálláson keresztül. Az ilyen 3 LED-es egységek soros elhelyezésével és párhuzamos kapcsolásával végtelen hosszú szalag készíthető, amit tekercsekben árulnak, különféle LED-sűrűséggel. A LED-es fényszalag készül színes LED-ekkel is, többnyire R-G-B változatban, ilyenkor persze már 4 vezetékes tápellátás szükséges, a LED-ek nyitóirányú feszültségének megfelelő előtétellenállásokkal. „Ha már lúd, legyen kövér” alapon a vezérlést mikrokontrollerrel (akár távvezérelten) szokták megoldani, különleges fényjátékokat létrehozva. Ez mind nagyon szép, ha a LED-szalagot főként dekorációs célra használjuk, ünnep, házibuli és egyéb neves alkalmakra. Ha viszont világít, akkor miért ne használjuk világításra? Ehhez van némi hozzáfűznivalónk.

A szalagon levő LED-ek teljes fényükben pompáznak, jellegzetes fénysűrűségükkel, ami közelről nézve bőségesen kimeríti a kápráztatás fogalmát, legtöbb esetben nem csupán zavaró, hanem rontó fokon. Megjegyezzük – ízlés dolga – a LED-soros világítás nem esztétikus, sokszor hangulatrontó hatású, ha közvetlenül látjuk. A LED-soros világítás takarólemez mögött, konyhai pult, munkaasztal, szekrény belseje megvilágítására hasznos lehet, lépcsőházban, vagy akár emeletes lakásban lépcsővilágításra kitűnő, mennyezeti résvilágításra fényerőssége kevés, legfeljebb több-sorosan elegendő. Megfelelő diffúz tokozásban (ami egy csőszerű „búrát” jelent) dekorációs célokra is jól használható. Példaként említhetjük a tajvani Kechen Lighting cég LED-szalagját, amely színes szilikon fényvezetőbe van ágyazva, segítségével esztétikus színes fényreklámok valósíthatók meg a hajdani neoncsöves megoldás mintájára, szintén 12 V-os táplálással. A **22. ábrán** mutatjuk be a szalag felépítését [11].

A szalag valódi high-tech-el készül, méterenként 120 db chip-LED van benne, 14 színben gyártják (ezekből egy nappali fehér és egy melegfehér színben, valamint R-G-B változat is elérhető). A szalag jól hajlítható, feliratok és egyéb mintázatok alakíthatók ki vele. Ezekre a **23. ábrán** láthatunk példákat.

Érdekes példaként említhetjük LED-



22. ábra

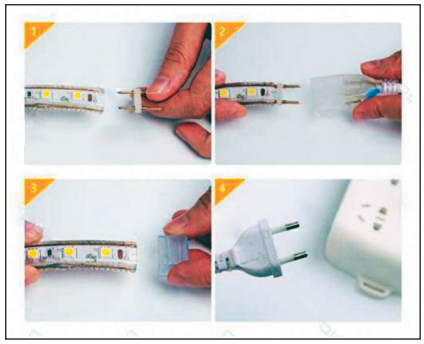
23. ábra

szalagoknál az újabban hirdetett 230 V-os hálózati feszültségről működő változatot. [13] Meghajtása közvetlenül a 230 V-os váltakozó áramú hálózatról történik, speciális csatoló egységgel, amelyet a szalaggal együtt szállítanak. A nagy feszültség miatt az érintésvédelemről kellően goldoskodni kell, ezért a szalagot különleges szilikon védőhuzattal látják el, és a végére ragasztóval rögzítendő speciális műanyag sapkát adnak. Ezzel szabadtéri alkalmazás is megoldható. A csatlakoztatást a **24. ábra** mutatja. Rejtett résvilágításra ajánljuk.

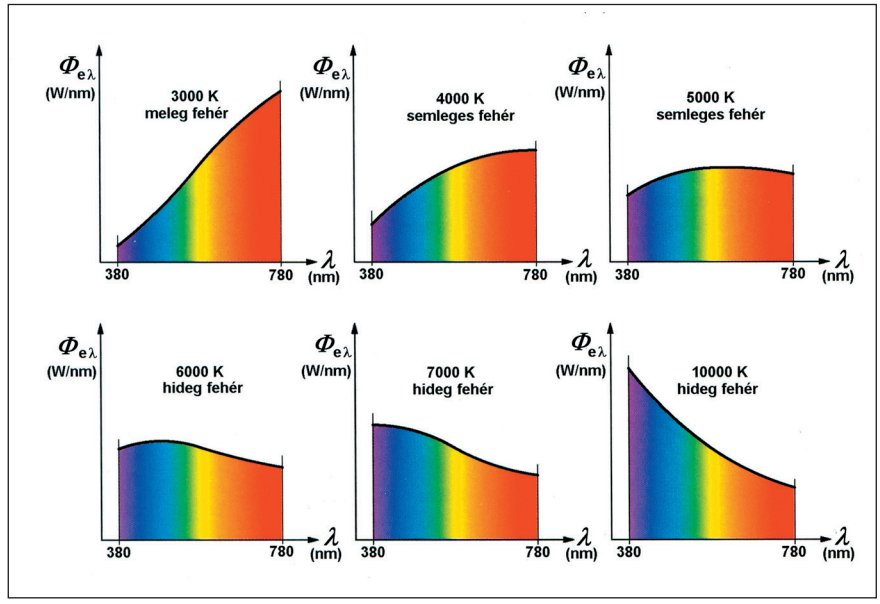
Színhőmérséklet, spektrum

Mint ismeretes, a látásunkhoz szükséges fehér fény a három alapszín (a technikában általánosan használatos R-G-B, monokróm fények) összege, a szakirodalom bőségesen foglalkozik vele és törvényszerűségeivel. A LED-ek (fizikájából ismerten) nem igazán monokróm fényt állítanak elő (mint a lézerek), de keskeny hullámhossz-tartományban sugároznak, és a színes fények jól keverhetők.

A színhőmérséklet kérdése LED-es világításnál egyre jobban előtérbe kerül, különösen manapság, hogy a csipgyártás világméretű növekedésével áruk töredéséke csökkent (hasonlóképpen, mint a tranzisztoroké a ’70-es, ’80-as években). Az izzólámpáknál tudomásul vettük, hogy a fényük a le-



24. ábra



25. ábra

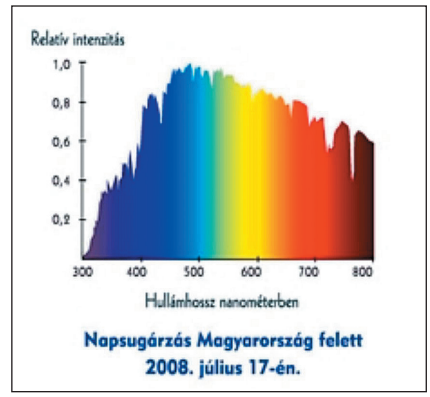
nyugvó nap fényéhez van közel (fotós célokra túlhevített izzószállal és kékes búrával készültek kis élettartamú égők, nálunk pl. a Tungsraphot), de a színvisszaadásba nem zavart be, spektruma „napfény-barát” volt. Azután megjelentek a fénycsövek, amelyeknél döntő szempont volt a negyedakkora fogyasztás (de milyen áron!), és szomorúan kellett tudomásul vennünk, hogy az alkalmazott fénypor által keltett fény köszönő viszonyban sincs a napfénynyel, bár már akkoriban is bevezetésre került a *hideg-* és a *meleg*fény fogalma. A nagyméretű kisülőcsöves fényforrásoknál szóba sem kerülhetett a ma egyre több gyártó által kifejlesztett vegyes színhőmérsékletű LED-ekből felépített lámpatest igény szerinti vezérléséhez hasonló vezérlés.

A LED-ek fényének színhőmérséklete – mint tudjuk – a fénypor anyagától függ, hogy a szekunder sugárzás során milyen hullámhossz-konverzió jön létre. Ez persze a kisülőcsöveknél is így van, de ott az egész fényforrás egyetlen színhőmérsékleten világít, a LED-es lámpákban viszont sok LED van, amelyek közül vezérlés kérdése, hogy melyik színhőmérsékletűt milyen fényintenzitással működtessük, ezzel – megfelelő fénydiffúzor előtéttel – tetszőleges összegzett színhőmérséklet állítható be. Erről részletesen írtunk a *2020-as évkönyvben* [9]. Azt, hogy mikor melyiket használjuk, az orvosi vélemények figyelembevételével a következő fejezetben találjuk.

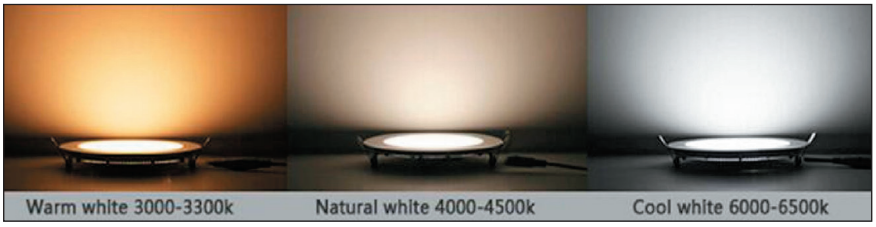
A színhőmérséklet matematikai definícióval is tárgyalható, de sokkal szemléletesebb a spektrális diagram. A **25. ábrán** különböző színhőmérsékleten sugárzó abszolút fekete test spektrumai láthatók, kelvinben.

Miből indulunk ki, amikor a megvilágítás színéről, spektrumáról, színhőmérsékletéről beszélünk? Természetesen a napfény sugárspektrumából. Ebben minden szín megtalálható, a kék tartalom kisebb intenzitással. Egy 2008-as mérési eredményt is ide iktattunk (**26. ábra**).

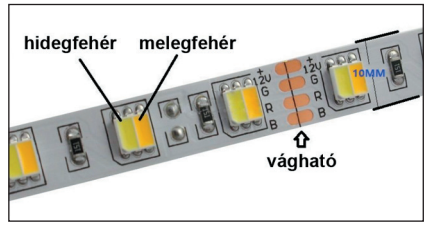
Olyan mesterséges világítótesteket kell tehát csinálni, amely a lehető legjobban megközelíti a napsugárzás fényspektrumát, akkor nem torzulnak a reflektált fénysugarak (vagyis a tárgyak színe). A spektrum kérdése tehát kezd egyre élesebbé válni, ahogy az új fejlesztések egyre jobb mutatókat hoztak. Már korábbi színképelemzési vizsgálatok kimutatták, hogy a zöld hullámhossz táján van egy űr (green gap), így ne csodálkozzunk, hogy a



26. ábra



27. ábra



28. ábra

100%-os színvisszaadást (R_a = 100) általában nem tudják a LED-es világítótestek produkálni. A lámpatervező LED-et sokféle szempont szerint választ. Színhőmérsékletre „könnyű" dolga van, hiszen a gyártó válogatja a csipeket, és „bin"-ekbe sorolja, rendeléskor a kívánt színhőmérsékletűt kell megrendelni. Fontos kérdés a kvantumhatásfok (mert az optikai és a villamos a gyártással jobban kézben tartható), amely a kristályszerkezettől függ, és a félvezetős gyártástechnológia a felelőse. Mindezek mellett tudjuk, hogy az elméleti 683 lm/W (555 nm-es hullámhosszon) fényhasznosítási hatásfok technikailag elérhetetlen, a mai chipgyártás alig haladja meg a 250-et, a boltban kapható kommersz LED fényforrás fényhasznosítása 100 lm/W alatt van. Neves gyártóktól lehet 120…140 lm/W-os értékűt kapni (amit persze ront az optikai és villamos veszteség is). Természetesen fontos a villanyszámla, de ma már nem igaz, hogy a világ energiafogyasztása jórészt a világításból ered, hiszen az izzólámpán túlléptünk, a LED-es világítási energiafogyasztás már csupán az egyéb fogyasztók nagyságrendjében van. A megvilágítás színhőmérséklete befolyással van látásunkra, hangulatunkra, cselekvőképességünkre és pihenési, ellazulási igényünkre, ezt érzékelteti a **27. ábra**.

Újabban egyre nagyobb igény mutatkozik az színhőmérséklet változtatásra, amely LED-ekkel könnyen megvalósítható. A 2020-as évkönyvünkben már bemutattunk néhány megoldást a Citizen gyártmányú kombinált színhőmérsékletű LED-modulokkal. Erre a megoldásra a LED-szalag gyártók is felfigyeltek, és néhány cég forgalomba hoz olyan LED-szalagokat, amelyben az egyes csip-LEDek helyén két csipet helyeznek be SMD formában, amelyek arányvezérlésével az eredő színhőmérséklet beállítható [14]. A szalag a hagyományos LED-szalagokhoz hasonló felépítésű, a két LED miatt 24 V-os tápfeszültségről működtethető, és mind fényerősség-vezérlésre, mind 2800…6500 K közötti színhőmérséklet változtatásra alkalmas. Vezérlése a hivatkozott évkönyvben megadott módon lehetséges. A szalag felépítését a **28. ábra** mutatja. A fehér színű LED-szalagokhoz hasonlóan mennyezet-résbe, vagy egyéb rejtett beépítésre ajánljuk.

Egyre fontosabbnak tűnik viszont a spektrum kérdése. A fehér LED előállítása óriási lépés volt (a sokáig megvalósíthatatlannak gondolt kék LED megalkotását követően, amivel megpróbáltunk a nap spektrumához közelíteni, de kiderült, hogy ez nem egyszerű, hiszen az R-G-B LED-ekből kikevert fehér fény is ilyen zavarokkal küzdött, ezért nem is ez vált a fehér fény előállításának módszerévé. A napspektrumú fehér fény (ami egyúttal 100-as színvisszaadási indexű is) olyan professzionális megvilágításoknál is létkérdés, mint a festmények mesterséges fénnyel való megvilágítása (ami egyúttal védelemül is szolgál a műalkotások festékanyagainak sugárzás hatására történő megváltozása ellen). Néhány éve hallottunk a Sixtusz kápolna freskóinak megmentésére szervezett akcióról, amely kutatócsoportban a veszprémi Pannon Egyetem keretei között működő Virtuális Környezetek és Fénytani Kutatólaboratórium is részt vett (Schanda professzor vezetésével). A kutatás egyre folyik, neves gyártók (és ma még nem eléggé nevesek) eredményei bíztatók. A természetes fehér színhőmérsékletű világítás iránt egyre nő az igény. A **29. ábrán** bemutatjuk a tajvani Glacialtech cég GL-BL60-NL típusú LED-es lámpáját, amely kiváló eredményt mutat [12].

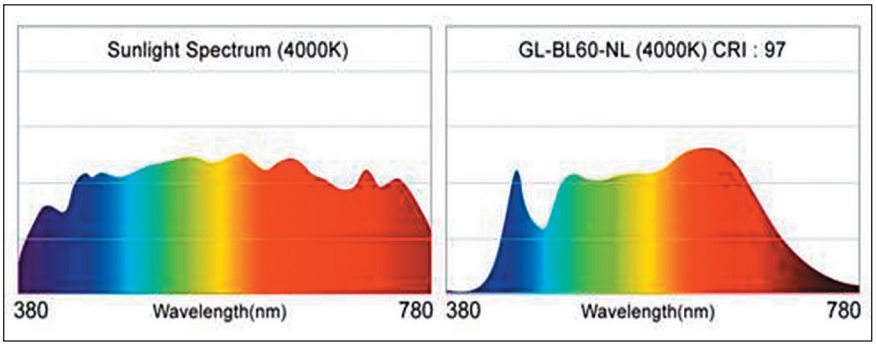
Színhőmérséklet tekintetében kiemelkedő a 97-es CRI értéke, nem véletlenül ajánlják múzeumi és igényesebb köztéri világításra, a kiviteli formája is ehhez igazodik. (**30. ábra**).

Emberi látás, orvosi vélemények

Orvosi szempontból érdemes vizsgálni a LED-es világítás kérdését, mert számos probléma vetődik fel, amely célszerű, okos alkalmazással elkerülhető.

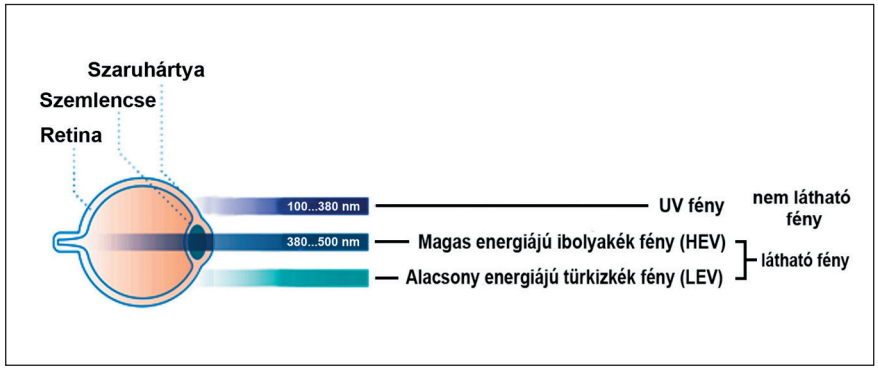
Alapvető tény, hogy a LED-es világítás sokkal közelebb áll a természetes napfényhez, egyenletesebb spektruma nem tartalmaz kiemelkedő tüskéket, mint pl. a kisülőcsöves fényforrásoké, de azért vannak veszélyei.

A LED-es világítás úgy robbant be a közéletbe (amelynek nagy része marketingfogás), hogy a LED nem sugároz



29. ábra

30. ábra



31. ábra

káros UV fényt, mint a kisülőcsövek, főként, ha a fényporrétegének sérülése, hiányosságai folytán a kisülés eredményeképpen ultraibolya sugárzás kerül ki a csőből, amely kedvezőtlen hasással van látásunkra. Ez persze csak részben igaz, hiszen gyártanak kifejezetten UV és IR tartományra is LED-eket (szolárium-világítás, pénzvizsgálás, körömlakk-szárítók, műgyanta-térhálósítás, sőt orvosi célra speciális besugárzó lámpák stb.). Gyártmánytól függően világítási célú lámpatestek is sugározhatnak kismértékben káros sugarakat, amiben az infravörös tartományú fény melegítő hatása jelentéktelen, de ultraibolya tartalma befolyásolja látásunkat. A problémát nem elsősorban a tény jelenti, hiszen az UV-tartalom a látható fényhez elenyésző, de a csekély mérték hossszú időn keresztül már mérhető veszély! Az időtartam azért jelentős, mert egy kora reggeli néhány perces napozás során is kapunk az ultraibolya sugarakból, sőt, a délelőtti napozáshoz védőkenőcsök és UV-szűrős napszemüvegek sora áll rendelkezésre (erős propaganda-eszközökkel), a számítógép-monitor előtt töltött 8…10 órás munka, vagy egyéb időtöltés legalább ilyen erős hatású lehet. Nem is beszélve a mobiltelefonozás nevű „népbetegségről", amelynek során ráadásul közelről figyeli szemünk a nagy fénysűrűségű fénypontokat, terhelve szemünk retináját ezzel a természetellenes sugárzással.

Az ultraibola sugárzásról viszont tudnunk kell, hogy nem egyértelműen káros hatású, sőt, az egészséges életmódhoz bizonyos határok között szükségünk is van rá. Mint ismeretes, csak a legrövidebb hullámhossz-tartományú sugárzás (100…280 nm), az UV-C tartomány a nemkívánatos, amelyet főként ózonkeltő hatásáról érzékelünk, és ez rákkeltő hatású is, ilyen sugárzást (ha másképpen nem megy) szűrőzéssel tartsuk távol élő környezettől. Az UV-A hullámhossz-tartomány (315…400 nm) mértékkel kívánatos az emberi szervezetre, hatására a pigment-képződés erőteljes, ez a napsugár barnító hatása, ezt hasznosítják a szoláriumok is, az UV-B hullámhossz-tartomány pedig (280…315 nm) fontos a D-vitaminképzésben, jobb, mint tabletta-formában szedni. A leírtak viszont igazak az egész emberi testre, kivéve a szemet. Meg kell jegyezni, hogy szemünk alapvetően érzékszerv, nem arra való, hogy fényekben gyönyörködjünk (kivéve a szórakoztatási célú modern lézeres fényjátékokat, vagy a ritka természeti jelenségeket, mint pl. az északi fény játékai), hanem megvilágításával a tárgyak térbeli helyzetét, színeit, méreteit érzékeljük. A megvilágítás céljára az egyenletes spektrumeloszlású fény a legalkalmasabb, tehát a természetes napfény spektruma. A mesterséges fényforrások közül ezt legjobban a kalorikus, égés-alapú fényforrások teljesítik (ilyen volt az izzólámpa), bár annak spektruma vörös irányban eltolódik. Ennek a spektrumnak káros hatása nincs. A kisülőcsöves fényforrások spektruma közel sem egyenletes, tűszerű összetevőkből keveri ki a fehér fényt, számos egészségtelen mellékhatással.

Azután jött a LED, ami minden eddigi fényforrásnál jobban közelíti a természetes napfény egyenletes spektrumát, bár a kék oldalról (alapvetően a kék primersugárzó LED miatt) erős tartalmi túlsúllyal. A csipfejlesztők és a lámpakonstruktőrök alapvető feladata a kéktartalom kordában tartása, és a kék és vöröstartomány közötti (főként zöld alapú) hullámtartomány-tartom emelése a spektrumban (lásd a Glacial törekvéseit).

Orvosbiológusok kutatják a mesterséges fény emberei szemre, látásunkra való hatását. Nézzük, milyen veszélyeknek vagyunk kitéve? A fény a szaruhártyán megszűrve a szemlencsén keresztül jut szemünkbe. A retinára kerülő sugárzás – a hullámhossznak megfelelően – ingert vált ki, amely agyunkba jut, ahol kialakul a látás, kép áll elő benne (kicsit bonyolultabb módon, mint azt az ember alkotta fényképezőgépekben: a képérzékelő csipek mindjárt digitális formában feldolgozzák). A retina fényérzékelő sejtjei (pálcikák és csapok) azonban nem egyformán reagálnak minden hullámhosszra, azaz színre. A fényerősség szintjét alapvetően a *pálcikák* ingerei adják, a színeket pedig a *csapok*. A kutatások kimutatták, hogy a spektrum kék tartománya különösen érzékenyen hat a retinára. A hatást jól mutatja a **31. ábra**.

Köztudott, hogy a láthatatlan ultraibolya fény káros a biológiai szövetre (főként az UV-C), tehát a bőrre és a szemre, de szerencsére szemünk elülső része szinte teljes egészében elnyeli ezt a sugárzást. A 380 és 500 nm közötti tartományban levő nagyenergiájú látható (HEV) ibolyakék fény különösen káros hatású, mivel szinte szűrés nélkül halad át a szemen, eljutva egészen a retináig.

A látható kék fényen belül is megkülönböztetünk hasznos türkizkék fényt (LEV) – amely alacsony energiájú, és elengedhetetlen a jó közérzetünkhöz és a cirkadián ritmus (biológiai óránk) szabályozásához –, illetve a már említett nagyenergiájú ibolyakék fényt (HEV), amely nagymértékben érkezik a mesterséges LED-es fényforrásokból, valamint mobiltelefonunk és számítógépeink monitoraiból.

Magyarországon is népbetegségnek számít, mégsem tulajdonítunk kellő figyelmet a monitorokból és egyéb kijelzőkből érkező látható kék fény káros hatásaira. Bár első sorban a szemünket érinti a probléma, kevesen vannak tisztában a kék fény által okozott egyéb mellékhatásokkal, amelyek egész életünkben végigkísérhetnek.

A manuális munkavégzés egyre jobban eltolódik, a „kényelmesnek és izgalmasnak tűnő" számítógépezés irányába, világítóeszközül pedig (sajnos sokszor válogatás nélkül) alkalmazzuk a LED-es fényforrásokat, ezek jelentős kék hullámhosszatományt visznek életünkbe, és nem alkalomszerűen rövid időre, hanem napi akár 8…10 órára. Röviden áttekintjük a veszélyeket.

Számítógépes-látás szindrómának (Computer-vision syndrome – CVS) hívjuk azt a tünetegyüttest, amely több-

nyire szemszárazságból, fejfájásból, fáradékonyságból áll, de ide tartoznak a sok ülésből következő hát-, váll- és nyakifájdalmak is, valamint gyakran ide sorolják a koncentrációs zavart, és az agyunkat érintő problémákat is.

Makula degeneráció – AMD, amely a látás elvesztésének egyik leggyakoribb kiváltó oka. A makula degeneráció a retina károsodását jelenti, amely első sorban az idősebb korosztályt érinti, azonban a megnövekedett monitor- és telefonhasználat miatt egyre veszélyesebb betegségnek számít a fiatalabbak körében is. A makula degenerációt többnyire a látható kék fény okozza, amely a szembe jutva a sárgafoltot támadja.

Gyerekkori miópia – A hosszantartó közelrenézés és a kék fény együttes hatása okozza főleg 14 éven aluli gyermekeknél a gyerekkori miópiát (rövidlátás), amely egyre gyakoribb betegségnek számít a fejlett országokban, ahol az iskolákban is tableteket, laptopokat használnak a gyermekek a tanuláshoz. Kínában a gyermekek 90%-a rövidlátó.

Szürkehályog – A túl sok kék fény a szürkehályog kialakulásához is erőteljesen hozzájárulhat: a beérkező káros fény hatására a szemlencse magja elkezd szürkülni, akadályozva a látást. A probléma csak műtéttel hozható helyre, bár a beépített műanyag lencse azon protézisek közé tartozik, amelyek jól helyettesítik a természetes elődjét, legfeljebb fókuszolása gyengébb.

Öregedés – A nagyenergiájú kék fény felgyorsítja az öregedési folyamatot is: bőrünk hamarabb kiszárad, ráncosodik amiatt, hogy a beérkező kék fény következtében sejtjeink veszítenek víztartalmukból, ruganyosságukból és ezáltal lassabban regenerálódnak.

Alvászavar – Mivel a kisenergiájú hasznos kék fény felel a biológiai óránk működéséért, a lefekvés előtti telefon-nézegetés komoly alvászavarokat okozhat. Fény hatására a melatoninhormon szintje csökken, ami ébren tart minket nappal, sötétben a melatoninszint pedig megnő, így tudunk könnyen elaludni. Ha lefekvés előtt túl sokat nézzük a képernyőt, akkor a megemelkedett melatoninszint miatt nem tudjuk magunkat kipihenni. A kialvatlanságból pedig egyenesen következhet stressz, figyelemzavar, elhízás és depresszió is, sőt, a meltaoninszint megzavarása mell- és a prosztatarák kialakulását is eredményezheti, valamint megnő a diabétesz kialakulásának kockázata is.

Hogyan védekezhetünk a kék fény hatása ellen? Szabadtérben gyakran használunk napszemüveget, ne sajnáljuk a csekély felárat egy megfelelő UV szűrőért!

Mesterséges megvilágítás esetén, főként számítógéphez használjanak *monitorszemüveget* azok is, akik nem szemüvegesek és/vagy kontaktlencsét hordanak. A monitorszemüveg – más néven számítógép-szemüveg, monitorszűrő szemüveg, vagy kék fényszűrő szemüveg – nem egy hagyományos szemüveg. Különlegessége az, hogy ez egy kék fényszűrővel ellátott, nulla dioptriás szemüveg azok számára, akiknek nincs szüksége látásjavításra, azonban munkájukból kifolyólag hosszú órákat kényszerülnek a számítógép előtt tölteni. Ajánlják néhány órás munka után a szemtornát, gyakori távolba nézést. Márkásabb monitoron/telefonon beállítható a szemkímélő *night shift* mód.

A kék fény hatása főként abban jelentkezik, hogy jelentősen *csökkenti a szervezetünkben a melatonin, azaz az „alváshormon" termelődését*, ami gondosan beállítja az alvást és ébrenlétet szabályozó cirkadián ritmust. Így amikor esténként az ágyban is a telefonnal vagy a tablettel babrálunk, azzal nemcsak egyetlen nyugodt alvást nehezítünk meg, de mivel kiesünk a cirkadián ritmusunkból, hosszú távon is kóros álmatlanságban, letargiában és depresszióban szenvedhetünk. (tudvalévő, hogy a kijelzők LCD paneljének üvegét élben LED-sor világítja meg, tehát a LED-es világítás egy speciális műfaja). Sokan szeretnek képernyőről olvasni akár szépirodalmat is, egy tablet használata erre jó megoldásnak tűnik (sokszor könnyebb tartani, mint egy vaskos könyvet). Nem ajánljuk! Erre fejlesztették ki az e-bookot, amely passzív eszköz, semmilyen sugárzást nem használ (csak a külső fényt), könnyebb is.

A LED-ek kibocsátotta kék fény tartalma függ az alkalmazott LED-ek színhőmérsékletétől. A kék fény okozta látászavarok a közvéleményt olyan irányba próbálják befolyásolni, hogy a LED-fény egyértelműen káros a látásunkra. Ez nem így van, csak ismerni kell a hatást és védekezni ellene. Kétségtelen, hogy a melegfényű LED-es fényforrások sokkal kevesebb kék fényt sugároznak. A közhiedelem Stockholmban például olyan méreteket ölt, hogy a boltokban kizárólag 2700…2800 K-es fényforrásokat árulnak, egy nappali fényt sugárzó 4000 K-es fényforrást speciális szaküzletben lehet kapni, és ha valaki netán 6500 K-esre vágyik, csak interneten rendelheti meg.

A káros hatások ismeretében nézzük meg, hogy lakásunkban milyen helyiséget milyen fényforrással világítsunk.

Kapubejáró, bejárati ajtó, lépcsőház

Javasolt átlátszó búrás, ún. filament technológiával készült LED-fényforrás, 4000 K semleges fehér színhőmérséklet, 450…640 lm fényárammal.

Előszoba

Egy előszobában fontosak a fények, hogy rendesen tudjunk felöltözni, megnézhessük magunkat a tükörben. Mivel jellemzően alárendelt helyiség, ablak általában nincs a közelben, ezért itt viszonylag erős, felülről érkező, több pontból világító, közepesen meleg fényre van szükség.

Javasolt nagy sugárzási szögű, nagy fényáramú fényforrás, 2700…3000 K melegfehér színhőmérséklet, 450 lm fényáram.

Fürdőszoba

A fürdőszoba az egyik legforgalmasabb, legtöbbet használt helyiség a lakásban, ahol a fényforrások megválasztása különösen fontos. Szükséges egy, a teret teljesen bevilágító mennyezeti lámpa, lehetőleg zárt (ufo típusú), amely közepesen meleg fénnyel világít. A tükör megvilágítására számos praktikus megoldás kapható, lényeg az arc jó megvilágítása borotválkozáshoz, sminkeléshez. Vizes helyiségeknél fontos a védelem is: minimum IP-44, de akár IP-66 víz- és porvédelmi besorolású lámpatest vásárlása is indokolt. Általános világításnak 2700 K melegfehér fényű fényforrás, a fürdőszobai tükör fölé 4000 K színhőmérsékletű fényforrás javasolt.

Hálószoba

A szoba közepén javasolt elhelyezni egy üveglapos fényszórású lámpát, az ágyakhoz pedig forgatható búrájú olvasólámpákat. A menyezetre 2700 K melegfehér színhőmérsékletű lapos LED-es, 800 lm fényáramú fényforrás javasolt, az olvasólámpákba pedig 4000 K-es reflektorlámpák, 450 lm-el.

Gyerekszoba

A helyiség közepén központi fényforrásként elhelyezett mennyezeti lámpa itt is indokolt (célszerűen lapos, ufoszerű felépítésű), mint minden nagyobb méretű, vagy huzamosabb tartózkodásra használt szoba esetén. Fontos, hogy az éjjeli lámpa itt se vakítson, ezért hasonlóan járjunk el, mint a hálószobánál. Emellett az íróasztalnál elhelyezett olvasólámpa talán a legfontosabb: a nem megfelelő fényerősség, színmélység és frekvencia rendkívül megterhelheti a szemet, ezért törekedni kell az ideális erősségű, a gyermek ülőmagasságában mért szemvonala felett még árnyékolt/burával ellátott lámpa megválasztására. A színhőmérséklet 4000 K körüli legyen, ami nem álmosít, hanem élénk észjárásra ösztönöz, de nem szabad túlzásba esni, semmi esetre se alkalmazzunk 6000 K-es fényt!

Javasolt a mennyezeti lámpába magas fényáramú LED-fényforrás, 2700 K barátságos melegfehér színhőmérséklet, 800 lm vagy nagyobb fényáram, az asztali lámpába inkább irányított fényű 4000 K-es reflektoros LED.

Konyha

Itt nem hangulatvilágításra van szükség! A konyha egyfajta munkahely, ahol nagy jelentősége van a részletek megvilágításának: látni kell a pultnál a szeleteléshez, a mosogatáshoz, a fazékban kavargó gőzökön át. Célszerű projektoros LED-eket tartalmazó lámpaszerelvény (3…5 GU-10-es lámpával), az elrendezés szerint egy-egy munkahelyre irányítva, 4000 K-es színhőmérséklettel, hogy az ételek színe közel álljon a természeteshez. Ne spóroljunk a fényárammal, 800…1000 lm ajánlható, hogy a részletek jól láthatóak legyenek! A munkapult megvilágításához sok, kisebb, vagy panelba/szalagba foglalt LED-eket célszerű felszerelni, a felső szekrénysor aljába, lehetőleg olyan foglalatút, amely előre nem sugároz, nem vakít, nem káprázt. A főzőlap megvilágítását a legtöbb esetben az elszívókba helyezett fényforrásokkal oldják meg. Itt fontos a megfelelően zárt lámpaház, különben a főzés során keletkező forró gőz és zsír hamar megrongálja az egész eszközt. Ha étkezőasztal is elfér a konyhában, a felett hangulatos, 2800 K-es meleg fényű lámpa lógjon a mennyezetről, vagy falikarról, a vízszintes látómező felett! Ugyanezen elrendezés javasolt különálló étkezőhelyiségre.

Nappali

Itt szükséges a központi világítás és a hangulatvilágítás is. Központi világításhoz a nappali méretétől függően inkább több, különböző pontról – de leginkább a mennyezetről – telepíthetünk hagyományos, vagy modern kivitelű csillárokat. Lényeges, hogy a csillár fénye homogén módon világítsa be a teljes helyiséget, vagyis ne maradjanak sötét, árnyékos foltok. Hangulatvilágítás kialakítása során a nappali egy bizonyos részletére összpontosítva hozhatunk létre kellemes fény-árny játékot, akár különböző színű fényszalagok segítségével. Klasszikus megoldás a sarokba állított, sárgás fényű nagyméretű lámpabúrás állólámpa is. Ezeket egymással kiegészítve is remekül használhatjuk, de választhatunk további, különlegesebb megoldások közül, pl. egyetlen kapcsolókörre kötött fényerősség-szabályozós hangulatvilágító lámpákkal intim világítás hozható létre az egész nappaliban. A képmegvilágító lámpák, mennyezeti surlófényes LED-csíkok, a kandalló vagy a komódok lámpái finom háttérfényt adhatnak tévézéshez, vagy az esti beszélgetésekhez.

Ha újépítésű lakásunk van, és a nappali építészeti megoldása lehetővé teszi, rejtett világítást is alkalmazhatunk fő világításként (ami nem gátolja hangulati elemként állólámpák elhelyezését), és ekkor célszerű színhőmérséklet-szabályozós rendszert felszerelni. Itt 2000…3000 lm-ig is elmehetünk (a szoba méretétől függően), amit természetesen le lehet szabályozni (akár egy mobiltelefonos applikációval, ami a fiatalságnál „igény”). Lényeges, hogy a tévét ne sötétben nézzük (akkor zavaróbban érvényesülhet a kék-hatás), hanem normál világításnál, hiszen a mai tévék fényerősséggel és kontraszttal bírják a versenyt.

Dolgozószoba

Nem minden lakásra jellemző (kis lakásoknál esélytelen is) a dolgozószoba, de ahol van, célszerűen és sokoldalúan ki lehet használni. Varrás, vasalás, írói tevékenység (ez a cikk is dolgozószobában készült), barkácsolás stb. nem illeszkedik a lakószobai viszonyokhoz (tisztaság, berendezkedés stb.). Ha viszont van rá lehetőség, akkor világításánál törekedjünk a célszerűségre, a munka fajtája szerint. Ide nem illik a hangulatfény, 4000…4500 K-es célszerű LED-es világítást javaslunk; egyetlen szabály a káprázásmentesség. Fényerősségben ne spóroljunk, 1000…2000 lm is elvárható, irányítható lámpatestekkel. Barkácsoláshoz jól használhatóak a nagyítós lámpák, LED-es változatukban olyan feladatok megoldhatók, amelyeket normál világításnál nem látunk.

Erkély, balkon

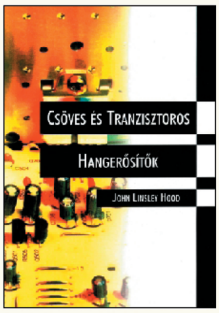
A kellemes nyáresti beszélgetésekhez élmény kiülni az erkélyre, balkonra, ekkor világításáról is célszerű gondoskodni. Melegfényű ufo-lámpákat ajánlunk mennyezetre, falra, 400…600 lm fényárammal. Ünnepi alkalomra (pl. Karácsony, szilveszter) ideiglenes szereléssel LED-es fényszalagok is használhatóak, színesen, színváltósan, vagy akár programozott színváltással, villogással, bár ezt csak üresen hagyott erkély esetén ajánljuk, dekorációként messziről, ott tartózkodás esetén nem ajánlott. Ügyes amatőr (Olvasóink nagy része) számára ilyen vezérlés összeállítása nem okozhat problémát.

Fejlesztési irányok

A különköző LED-es világítótestek bemutatásánál már többször említést tettünk arra vonatkozóan, hogy hagyományos világítótestjeinkbe belekényszerített LED-es fényforrások milyen problémákkal küzdenek. Az is világos, hogy a világot egyetlen vezényszóval nem lehet átállítani egyteljesen más rendszerre. Ez csak fokozatosan, lépésenként lehetséges.

A legfőbb akadálynak tűnik a hagyományos, több mint 100 évet sikerrel megért „villanykörte”. A másik, könnyebben elérhető cél a vonalsugárzó fénycsövek elfelejtése, amit nehezít, hogy a villanykörték mintájára a LED-eket beköltöztették a fénycsövekbe is, azzal a további (sokszor katasztrofális) következménnyel, hogy ugyanazon foglalatrendszer eltérő bekötéssel „botcsinálta vállalkozóknál” halálos áramütést váltott ki. De akkor milyen irányba haladjon a LED-es fényforrású világítótest fejlesztés? A megoldás egyszerű, vissza az alapokhoz!

A természetes fénysugárzó Nap is pontszerű fényforrás, de oly távol van, hogy sugarai jó közelítéssel párhuzamosaknak tűnnek. Egy nagyfelületű, egyenletes fénysűrűségű fényforrásból

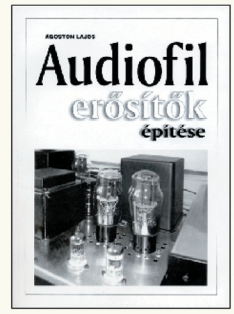


Csöves és tranzisztoros hangerősítők

John Linsley Hood

könyvét nem lehet csak egyszerűen elolvasni, annak ott kell lennie a könyvespolcon, hogy bármikor kézbe vehessük „Ebben a könyvben az utóbbi 50 évben kifejlesztett hangerősítő konstrukciókat tekintettem át abban a reményben, hogy az itt található információ hasznos lehet a felhasználóknak vagy a potenciális tervezőknek." – írja a szerző.
A 244 oldalas, B5 méretű könyv ára: 3950 Ft (+ postaköltség).

Audiofil erősítők építése



Ágoston Lajos

könyvében a külföldi szakirodalmakból ismert, jól bevált és általa is utánépített, együtemű és ellenütemű, csöves, illetve tranzisztoros hangerősítők építési leírásait adja közre, több áramkörnél nyomtatási-rajzzal. A 228 oldalas B5 méretű könyvhöz CD-melléklet is tartozik. Ára: 4490 Ft (+ postaköltség).

Audiofil erősítők építése 2.

Előerősítők, Fejhallgató erősítők

Ágoston Lajos

ezen újabb könyvében az első kötethez hasonlóan megépített és jól bevált áramköröket ismertet, nyomtatási rajzokkal és fotókkal illusztrált gyakorlati megközelítésben. A kötet főbb tématerületei: Jelkondicionálók, előerősítők; Csöves és félvezetős RIAA-korrektorok; Csöves és félvezetős fejhallgató erősítők; Néhány fejhallgató márka. A 206 oldalas, B5 méretű könyv ára: 4950 Ft (+ postaköltség).

PIC mikrovezérlők alkalmazástechnikája

PIC programozás C nyelven

Dr. Kónya László – Kopják József

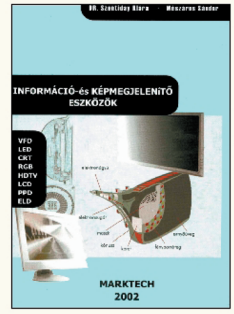
„A harmadik kiadásban nem kevesebbre vállalkozunk, mint az olvasó számára kellő támaszt adni a hatalmassá bővülő PIC paletta használatához. ... A magas szintű programozási nyelvek használatát ma már nem lehet megkerülni, emiatt kiemelt hangsúlyt fektettünk a C programozási nyelvet elsajátítani szándékozó olvasók igényének kielégítésére." A 400 oldalas B5 méretű könyvhöz CD melléklet is jár. Ára: 4900 Ft (+ postaköltség).

Mikroelektronikai szenzorok és alkalmazástechnikájuk

Szentiday Klára – Dávid Lajos

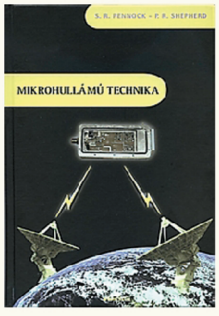
könyvével megkönnyíti a szenzorfajták áttekintését és a kívánt célnak legmegfelelőbb diszkrét vagy integrált szenzortípus kiválasztását. „... a könyvet ajánljuk mindazoknak a mérnököknek, technikusoknak vagy műszaki menedzsereknek, akik a szenzorok gyártás-fejlesztésével vagy gyártástechnológiájával kívánnak foglalkozni, ..."
A 206 oldalas, B5 méretű könyv ára: 2950 Ft (+ postaköltség).

Információ- és képmegjelenítő eszközök



Szentiday Klára – Mészáros Sándor

„Könyvünk a kép- és információ-megjelenítők legkorszerűbb típusaival ... az – elektronsugárcsöves, – folyadékkristályos, – LED, – vákuumfluoreszcens, – plazmapanel és elektrolumineszcens működési elvű megoldásokkal foglalkozik." – írják a szerzők a kötet Bevezetőjében.
A 346 oldalas, B5 méretű könyv ára: 2950 Ft (+ postaköltség).



Mikrohullámú technika

S. R. Pennock – P. R. Shepherd

a napjainkban egyre nagyobb és fontosabb szerepet játszó, 1..100 GHz közötti frekvenciatartomány technikáját ismerteti művében. „A mikrohullámú technikával kapcsolatos szakszövegek többnyire két szélsőséget képviselnek: vagy túl szakmaiak, ... a szövegek másik fajtája ... túl általános, így nem elég részletes. Nyilvánvaló szükség volt tehát egy megfelelő széleskörű bevezető könyvre a nagyfrekvenciás és a mikrohullámú technikába, amely kielégítő mélységű a különböző témákban." – írják a szerzők. A 350 oldalas, B5 méretű könyv ára: 4250 Ft (+ postaköltség).

A könyvek megvásárolhatók, ill. utánvéttel megrendelhetők a HAM-bazártól.
Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em., H-P. 09 –14, Cs. 09–17 ó.
hambazar@radiovilag.hu (36 1) 239-4932/36 239-4933/36 www.radiovilag.hu

párhuzamos sugarak világítják meg a környezetet, ilyen fényforrás jelenleg nem kapható (vagy csak elszórtan, kísérletileg van jelen). A fény irányhatása is fontos, hiszen a megvilágításnál a tárgyak árnyéka is segít kialakítani a látott környezetet. A jövő fényforrása ebben az irányban halad, bár az út rögös. Egyelőre olyan világítótestek születnek, amelyek közelítenek az új kompozícióhoz, de még a hagyományos fényforrásokkal működtethetők.

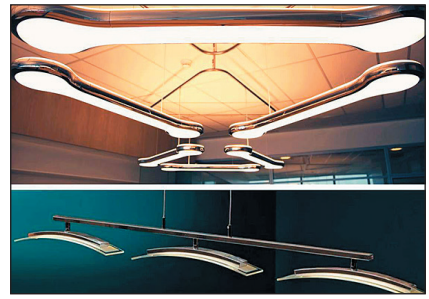
Világításra nemcsak a hagyományos „lámpák”, „csillárok” használhatók. Fényt kibocsátó eszközök változatos formái kaphatók már ma is a boltokban (sajnos áruk nem középkategóriás), a jövőben várható ezek a világító elemek, amelyek a világítás mellett díszítő elemként is használhatóak. Példaképpen a **32. ábra** mutat néhány ilyen elemet.

A hagyományosan mennyezetre szerelt világítótestek sem a csillárt idézik, persze ilyen környezetbe a hagyományos ruhásszekrény, vagy négylábú asztal sem illik… Teljesen új térkitöltő formák érvényesülnek, ennek kiszolgálására pedig nagyon alkalmasak a LED-ek, beleértve a ma még gyerekcipőben járó OLED-eket is, amelyek egyelőre inkább a monitoriparban terjednek. A **33. ábrán** újszerű mennyezeti világítótesteket mutatunk.

32. ábra

Irodalom:

1. Lambert Miklós: LED-es világítás. Invest-Marketing Bt. Budapest, 2019.
2. http://www.fusionoptix.com
3. Káprázatás: Schanda prezentáció: https://slideplayer.hu/slide/1937044/
4. www.intematix.com
5. www.incomp.hu
6. www.linkage.cn
7. http://www.endrich.com/de
8. https://eoptika.hu/kategoriak/monitor-szemuveg.html
9. Rádiótechnika évkönyve. 2020.
10. http://www.hernon.com
11. www.kled-lighting.com
12. www.glacialtech.com
13. https://ledezz.hu/led-fenykabel-szalag-50m-hideg-feher-230v-7w-m
14. https://www.vled.hu/led-szalag/24v-led-szalag/5025-led-szalag-60-led-m-24v-hideg-feher-6000k-meleg-feher-3000k-5m-3-ev-garancia-4441
15. www.power.com
16. https://www.we-online.de/web/en/wuerth_elektronik/kontakte_weg/contacts_weg.php?countries=HU



33. ábra

Fénytani mértékegységek

A **fényerősség** – az SI fénytani alapegysége – a *kandela*; jele: *cd*. Ez olyan, $5{,}4 \cdot 10^{14}$ Hz frekvenciájú (azaz 555,5 nm hullámhosszúságú) monokromatikus fényforrás fényerőssége, amelynek az adott irányban a sugárerőssége 1/683 W/sr. (Ahol *sr = szteradián*, a középponti térszög alapegysége*.)

A **fényáram** SI-egysége a *lumen* (*lm*). 1 lm az a fényáram, amelyet 1 cd fényerősségben minden irányban sugárzó pontszerű fényforrás 1 sr térszögbe sugároz; azaz 1 lm = 1 cd · sr.

A **fényenergia** SI-egysége a *lumenmásodperc* (*lm · s*), a másik törvényes mértékegysége a *lumenóra* (*lm · h* = 3600 lm · s).

A **megvilágítás** törvényes mértékegysége a *lux* (*lx*). 1 lux a megvilágítás azon az 1 m^2-es, merőlegesen, egyenletesen elosztva megvilágított felületen, amelyre 1 lm fényáram esik: 1 lx = 1 lm/m^2.

A **megvilágítottság** SI-egysége a *luxmásodperc* (*lx · s*), azaz az a megvilágítottság, amely akkor keletkezik, amikor 1 lx megvilágítás 1 s időtartamra hat.

*: a szteradián a **térszög** az SI származtatott, dimenzió nélküli egysége. A szteradián a gömbsugár négyzetével egyenlő területű gömbfelületrészhez tartozó középponti térszög. (Egy olyan, a gömb középpontjára illesztett csúcsú kúpból és az azt lezáró göbsüvegből álló térfogatrészt kell elképzelnünk, amelynél a kúp alkotóinak a szöge kb. 65,54°.)

(Fodor György: Mértékgység-lexikon; MK. 1990.)

Kivezérlésmérés, kivezérlésmérők, hangosság

Csiszár János okl. villamosmérnök, csiszarjanos@t-online.hu

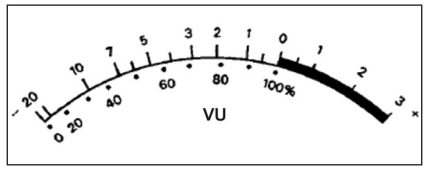
A hangtechnikai berendezéseknél a kivezérlés mérésének kettős szerepe van: egyrészt a mért berendezést követő áramkört védi a túlvezérléstől, másrészt a műsorszám hangulatának megfelelő dinamikájú hangesemény hangosságát határozza meg. A két feladatot egyetlen mérőműszerrel nem lehet megoldani, emiatt készült többféle, különböző mérési módszert alkalmazó ellenőrző műszer. Mindezek mellett nagy szükség van még egy nagyon kifinomult kontroll „berendezésre”: az emberi hallásra.

1. VU mérő

2019. május 1-jén ünnepelte 80 éves születésnapját a VU mérő (Volume Unit meter). 1939-ben a CBS (Columbia Broadcast System), az NBC (National Broadcasting Company) és a Bell Telephone Laboratories által kidolgozott szempontok szerint, az Amerikai Akusztikai Társaság (ASA) felterjesztésére 1942-ben szabványosították az Egyesült Államokban. (ANSI C16. 5-1942) A műszer kifejlesztésének célja az volt, hogy a rádióállomások és telefontársaságok objektíven tudják mérni a beszéd, zene hangerejét.

A hangerő kiértékeléséhez logaritmikus erősítőre lett volna szükség, de ez abban az időben, elektroncsövekkel megvalósítva túl nagy, bonyolult és drága lett volna. Ezért a műszer skáláját rajzolták úgy decibelben, ahogy azt a kétutas réz-oxidul egyenirányító karakterisztikája adta (**1. ábra**).

A műszer mérési tartománya gyakorlatilag −20 és +3 dB közé esik, ez az érték közel áll ahhoz a dinamikatartományhoz, amelyet a rádióállomások akkoriban teljesíteni tudtak. A „hangerő egység” (VU) kijelzése alatt rendelkezésre állt egy másik skála, amely százalékban is mutatta az aktuális VU értékét.



1. ábra

A mérőáramkör a szinuszos jel csúcsértékét mérte, de a skála effektív értékre volt kalibrálva. Ez azt jelentette, hogy kizárólag szinuszos jelek esetén mért effektív értéket, egyéb jelformáknál, amelyek az esetek kb. 99 százalékában fordultak elő, hamis mennyiséget (nem effektív értéket) mért. Az átlag hangerő mérését a felfutási és visszafutási idő viszonylag nagy értéke (300 ms) biztosította. Ezt az értéket a kétutas egyenirányító elektromos áramkörével és a lengőtekercses műszer mechanikai időállandójával érték el.

Bár a 300 ms integrációs idő viszonylag közel áll az emberi hallás hasonló időállandójához, a műszer mutatója valójában nagyobb kitéréseket végez, mint a hangerő változása. Ebből a szempontból hasznosabb lenne az 500 ms-hoz közeli fel- és lefutási idő. A hosszú integrációs idő miatt a rövid időtartamú jelcsúcsokat nem jelzi, így a túlvezérlések kijelzésére egyáltalán nem alkalmas.

2. PPM (Peak Programme Meter)

Az áramkörök túlvezérlésének indikálására fejlesztették ki a Peak Programme Meter-t (PPM-et). A PPM kijelző lehet mutatós műszer, LED-sor, LCD, vagy egyfajta vákuumfluoreszcens kijelző. Az IEC útmutatása szerint vákuumfluoreszcens oszlopkijelző esetében legalább 100 szegmens szükséges, a maximum értékhez közeli tartományban 0,5 dB-es felbontással. A felfutási idő 5 vagy 10 ms, a visszafutási idő nagy, általában 10 dB/s nagyságrendű; a különböző szabványok rögzítik a pontos értéket. A viszonylag nagy visszafutási idő egyrészt a jelcsúcsok pontosabb kijelzése miatt, másrészt az idegesítően vibráló műszermutató (fénycsík) elkerülése miatt szükséges. A VU mérő és a PPM is az „analóg kor” műszere, mindkettőnek ismert tulajdonsága, hogy a tényleges túlvezérést bizonyos hibával jelzik ki. Ez az érték VU mérőnél 15-20 dB, de ez megbocsátható, hiszen nem a túlvezérlések kijelzésére konstruálták a műszert, hanem az átlag hangerő mérésére. A PPM a tényleges csúcshoz képest 6-8 dB-llel mutat kevesebbet. Ez az érték természetesen függ a hanganyagtól, de más értéket mutat az 5 és 10 ms integrációs idejű műszereknél is. Ezen tulajdonságuk már a műszerek fejlesztésekor ismert volt, de a mérnökök úgy vélték, hogy ilyen rövid idejű túlvezérlést, jeltorzulást az emberi hallás még tolerálja.

A csúcsmérőket körülbelül ugyanabban az időben, a ’30-as évek vége felé fejlesztették ki, mint a VU mérőket. A csúcsmérőt Németországban (I. típus) és az Egyesült Királyságban (II. típus), míg a VU mérőt az Egyesült Államokban hozták létre, mindegyiket az AM rádióállomások adásai kivezérlésének kontrollálására.

Több legenda szól arról, hogy melyik műszert fejlesztették ki elsőként, valamint hogy a másik típusú mérőt az első hiányosságainak megszüntetésére alkották meg. A leggyakrabban hangoztatott történet az, hogy a PPM volt az első, a VU mérőt a PPM hibáinak kiküszöbölése érdekében fejlesztették. Tisztán láthatjuk, hogy nincs olyan mérőműszer, amely a program hangerejét és csúcsait egyaránt pontosan, megbízhatóan mérné, ha van is ilyen megoldás, ez csak nagyon erős kompromisszumokkal megvalósítható.

Ilyen kompromisszum pl. a VU mérő skálájába integrált, csúcsértékre figyelmeztető LED, vagy a jelentősen megnövelt integrációs idejű csúcsmérő. A valódi hangosság mérésére szolgáló módszert csak jóval később, a 2000-es évek elején fejlesztették ki, és foglalták szabványba.

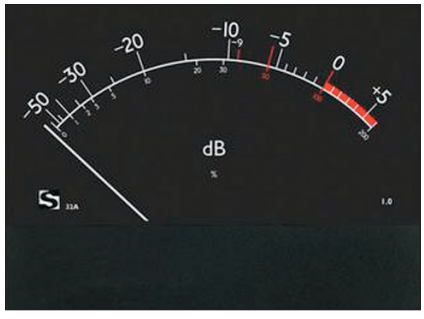
Az I. és II. típusú csúcsmérők integrációs idejének egyszerű eszközökkel történő ellenőrzését meg kellett valósítani, erre fejlesztették ki az 5 kHz-es frekvenciájú, 0 dB szintű szinusz „burst" mérőjelet. Ezzel az 5 ms időtartamú jellel meghajtva az I. típusú (német szabványú) csúcsmérőt, a mutatónak a −2 dB szinten kell állni, a 10 ms időtartamú burst-nek a II. típusú (angol szabványú) műszer skáláján kell ugyanezt a −2 dB szintet mutatnia.

Egységesítették a PPM szintjeit, illetve a szintek elnevezését is, az AL (Alignment Level) a szinuszjellel történő beállítás nulla szintje, az ML (Measure Level) az a szint, ahol a hangfrekvenciás ellenőrző méréseket kell végezni – ez az „AL"-hez képest −12 dB –, a PML (Permitted Maximum Level) a megengedett maximális jelszint beszéd, zene esetében. A PML értékét (figyelembe véve azt a tényt, hogy változó hangjel esetében a valóságos csúcsérték a mutatott értéknél 6-8 dB-el nagyobb) a beállítási szint felett (AL) 8, illetve 9 dB-ben határozták meg, ez a lehetséges maximális kivezérléshez tartozó szint. [1]

Néhány példa a különböző országokban használatos PPM skálákra és szintekre:

2.1. DIN PPM
(2. ábra)

I.a típusú, 5 ms integrációs idejű PPM, a visszafutási idő 20 dB/1,7 s. A skála nagyobb részén logaritmikus, így ezen a skálaszakaszon a decibelben kifejezett értékek kb. azonos távolságra vannak egymástól.

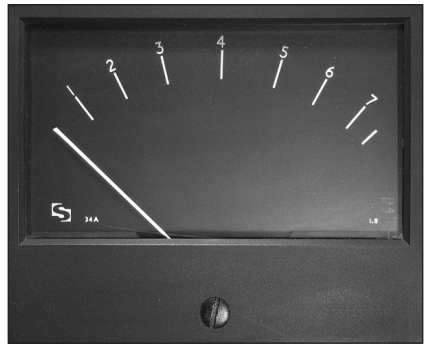


2. ábra

A német műsorszolgáltatásban az engedélyezett maximális szintnek megfelelő névleges analóg jelet az ARD szabványosította 1,55 V-on (+6 dBu), ez a DIN típusú PPM 0 dB-es pontja. A beállítási szintet (AL) a mérőn a −9 jelű skálapont jelzi.

2.2. BBC PPM
(3. ábra)

Minden osztás 1–7 között 4 dB távolságra van egymástól, a maximális megengedett szint a 6-os osztásnál van, ez +8 dB. A beállítási szint a skála közepén, a 4-es osztásnál található, 0 dBu feszültségszinten. A professzionális felhasználású csúcsmérők skálája fekete alapon fehér rajzolatú, a szem kifáradásának elkerülésére.



3. ábra

2.3. DIN PPM NORDIC
(4. ábra)

Skandináviában a DIN PPM „Nordic" néven ismert változatát használják. Ugyanaz az integrációs és visszatérési idő, de eltérő a skála, a „TEST" jelzés megfelel az igazítási szintnek (0 dBu) és a +9 megfelel az engedélyezett maximális szintnek (+9 dBu). A DIN skálához képest a skandináv skála egyenletesebb elosztású és valamivel kisebb dinamikatartományt fed le.

4. ábra

2.4. EBU PPM (European Broadcasting Union; **5. ábra**)

Az EBU PPM a brit PPM egy változata, amelyet a programszint ellenőrzésére terveztek a nemzetközi programcserében. Az IEC 60268-10 szabvány szerinti II.b típusú PPM-ként jellemezhető. Ez megegyezik a brit PPM specifikációjával, kivéve a skálalemezt, amelyet dB-ben kalibráltak a beállítási szinthez viszonyítva, amelyet „TEST"-tel jelöltek. A skála 2 dB-es osztású, de jelzés található +9 dB-nél is, amely megfelel az engedélyezett maximális szintnek.

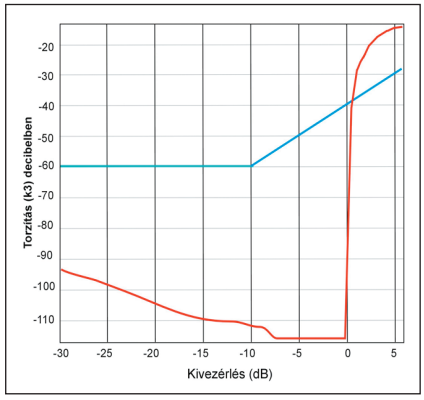
5. ábra

3. PPM használata a digitálisan rögzített hanganyag felvételekor

Az előbbiekből kiderült, hogy a PPM nem az igazi csúcsértéket méri, hanem annál kevesebbet. A tényleges csúcsérték és a mutatott érték közötti különbség a mért jel felfutási idejétől és időtartamától függ; a vonatkozó szabványok szerint átlagosan 9 dB. Ma már (2020) léteznek olyan digitális műszerek, amelyek az igazi csúcsértéket (true peak, TP) mutatják, ezért az eddig tárgyalt csúcsértékmérőket QPPM-nek, kvázi-csúcsértékmérőnek nevezzük.

A kvázi-csúcsmérők (QPPM-ek) sem a hangosságot, sem a valódi csúcsokat nem jelzik, hanem valamit a kettő között. Fontos, hogy elegendő túlvezérlési tartalék (headroom) legyen biztosítva annak érdekében, hogy az A/D konverter bemenetén elkerüljük a túlvezérlést.

Az EBU egyezmény (R68) előírja, hogy az beállítási szint (a tulajdonképpeni „0 dB") −18 dBFS legyen. A dBFS a maximális műszerkitérést, a „FULL SCALE"-t jelenti, amely A/D konverzió után megegyezik a rendszerre



6. ábra

jellemző maximális digitális amplitúdóval (számmal). Tehát a kvázi-PPM-en feltüntetett megengedett maximális szinthez tartozó csúcs megfelel −9 dBFS-nek. Ez a 9 dB tartalék lehetővé teszi, hogy egy apró hangmérnöki figyelmetlenség, vagy egy nagyon keskeny impulzussal reprezentálható hang sem okozzon túlvezérlést az A/D konverter bemenetén. Az igazi csúcs jellemzően több dB-lel nagyobb, mint a PPM kijelzése, de még így is elegendő kivezérlési tartalék áll rendelkezésre, ha pl. a későbbiekben valamilyen digitális manipulációt végzünk, amely esetleg amplitúdónövekedéssel járhat.

Az SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) a −20 dBFS beállítási szintet javasol, amely 0 VU-nak felel meg. A két megállapodás eredményeként a vonal hangszintjei eltérnek 2 dB-lel, de a gyakorlatban a programmoduláció szintje általában hasonló.

Az SMPTE és az EBU egyetértenek abban, hogy függetlenül attól, hogy beállítási szintként −18 vagy −20 dBFS-t használnak, ezt a szintet dokumentálni kell, és mindkét esetben a program az IEC szabvány szerinti QPPM-mel mérve kell legfeljebb a −9 dBFS megengedett maximális szintet érheti el.

4. Digitális kivezérlésmérők

A digitális jelek kivezérlésének, túlvezérlésének megítélésénél szemléletváltásra van szükség. Az „analóg kor” túlvezérlésének mértékét mindig egy torzítás értékkel definiáltuk. Például a mikrofonok maximális hangnyomás értékét az 1% THD határozta meg, a magnetofonszalag túlvezérlését szintén az 1%-os torzításhatár definiálta. Az analóg hangtechnikában lehetséges túlvezérlés-értékeket mindig torzítás értékekhez kötöttük, mert a legtöbb eszköz egy bizonyos átmenet után kezdett el csak drasztikusan torzítani, vagyis a műsoranyagban nem létező frekvenciákat létrehozni.

A digitális eszközöknél más a helyzet, ott adott az a maximális szám, amely az előforduló legnagyobb amplitúdót jellemzi, ezen érték fölé nem nőhet a digitális jel. A D/A konverzió után elméletileg egy konstans feszültség helyettesíti a túlvezérelt szakaszt. Szerencsétlen esetben már az antialiasing szűrő áramkörei is túlvezérlődnek, ezért pontosan az ellenkezőjét csinálják, mint ami miatt a szűrőt beépítették! Ezt úgy kell érteni, hogy ahelyett, hogy a szűrő korlátozná a frekvenciasávot a mintavételi frekvencia felénél, újabb harmonikusokat termel, amelyek a hanganyagban elő sem fordulnak.

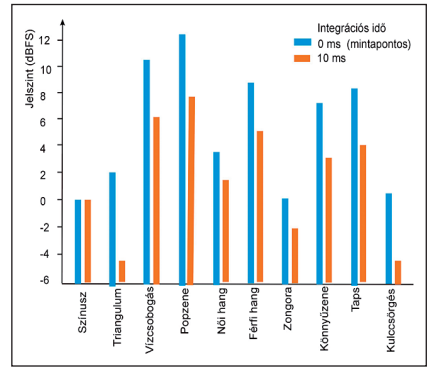
A kivezérléstől függő harmonikustorzítás harmadik harmonikusát mutatja a **6. ábra** analóg és digitális áramkörök esetében. [2] A kék karakterisztika az analóg, míg a piros a digitális jelek D/A konverzió utáni k3 torzításértékét mutatja.

Látható, hogy digitális jel esetén már 2,5 dB túlvezérlésnél -20 dB a keletkezett harmadik harmonikus szintje, ez pedig 10%-os harmonikus (k3) torzítást jelent a D/A konverziót követően.

Az ábra alapján érthető az óvatosság, mely szerint a „teljes kivezérlés” szintjére QPPM-mel mérve -18, illetve -20 dBFS engedhető meg!

4.1. SPPM (Sample Peak Programme Meter)

Jobb helyzetben vagyunk, ha az analóg jel már digitalizált, és a digitális mintáknagyságát kell mérni. 48 kHz mintavételi frekvencia esetében a minták „távolsága” 20,8 us, tehát ilyen csekély a Sample Peak Programme Meter (SPPM) „integrációs ideje”.



8. ábra

Az SPPM két formában fordul elő, vagy önálló hardverként, vagy szoftver formában. Bármelyik megoldás több kiegészítő funkciót tartalmaz, például:

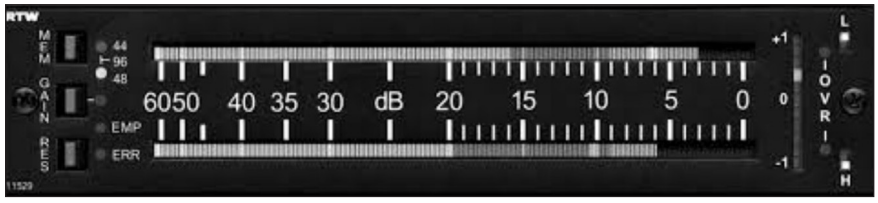
– digitális túlvezérlésjelzést, amelynél beállítható a túlvezérelt minták száma, amelyet meghaladva egy jelző LED kezd világítani,
– beállítható mintavételi frekvencia lehetőségét,
– bekapcsolható preemfázist,
– korrelációmérőt a sztereó jelek fázishelyzetének ellenőrzésére,
– szabványos hangosságmérőt,
– átkapcsolási lehetőséget QPPM és SPPM üzemmód között,
– a bemenőjel AES/EBU vagy SPDIF szabványú,
– tartalmaznak digitális csúcsmemóriát.

Egy RTW SPPM képe látható a **7. ábrán**

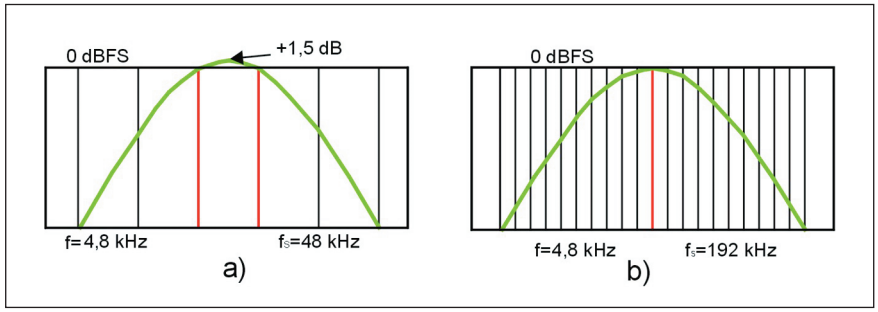
A **8. ábra** illusztrálja, hogy különböző hanghatások kivezérlésének mértéke mennyire különböző 10 ms és kb. 0 ms (mintapontos) integrációs idejű mérőműszerrel mérve. [2]

4.2. TPPM (True Peak Programme Meter)

A digitalizált hangjelek amplitúdójára nem csak felvételkor, hanem az utómunka során is nagy figyelmet kell fordítani. A téves kiindulásból származó „hangerő-háborúnak” a következménye, hogy (majdnem) mindegyik hangmérnök a lehető leghangosabb végterméket szeretné előállítani. A digitális technika előnyeit kihasználva, a rögzített digitális anyagot 0 dBFS



7. ábra



9. ábra

szinten limitálja az elérendő nagy hangerő érdekében, és ezzel a művelettel nagy biztonsággal túlvezérli a D/A konvertert! A **9.a ábrán** látható, hogy a minták közötti túlvezérlés miatt a D/A konverzió után eléri az 1,5 dB értéket a 0 dBFS felett. Ez azért áll elő, mert a D/A konverzió utolsó művelete, hogy a mintavett jelet egy aluláteresztő szűrőn (Low Pass Filter, LPF) vezetik át. Az LPF minden impulzusra egy sinx/x lefolyású elektromos jelet állít elő, ezek összege képezi az analóggá visszaalakított jelet. Az összeadás során alakul ki az a bizonyos 1,5 dB túlvezérlés.

Ahogy a **9.b ábra** mutatja, a „true peak" értéket mérő műszerek négyszeres túlmintavételezéssel működnek, de ebben az esetben is maximum −1 dBFS lehet a digitális kimenőjel maximális szintje. Ez a beállítás biztosítja, hogy a D/A konverzió után maximum −0,2 dB amplitúdójú jel jelenik meg a kimeneten.

Végül tekintsük át az analóg és digitális jelek Európában szabványos szintjeit, amelyeket a hangfelvétel során *szigorúan be kell tartani* (**10. ábra**)! [1]

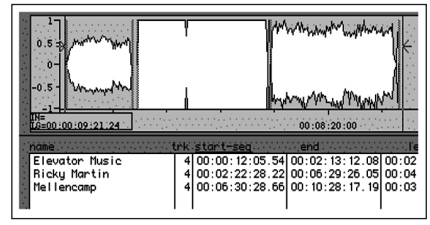
5. LEQ (Equvivalent Loudness, ekvivalens átlag hangosság)

Az európai rádió- és tévéállomások a 2011-ig érvényben levő szabványnak megfelelően a kivezérlés mérésére QPPM műszert használtak, a maximális megengedett amplitúdó −9 dBFS szintű volt. Ez a gyakorlat az elektromos berendezéseket megbízhatóan megvédte a túlvezérléstől, de az adásban 7–10 dB hangerőugrások is voltak a közvetített programtól függően. A **11. ábrán** látható hullámformák egy szimfonikus zene (felső), beszéd (középső) és popzene (alsó) egy-egy részletéről készültek. [2]

Mindegyik műsor maximális amplitúdója 0 dBFS, de ekvivalens hangosságuk, különösen a szimfonikus és popzene LEQ értéke jelentősen, 7 dB-lel különbözik egymástól. Ennél az értéknél jóval nagyobb eltérések is lehetségesek, ha a hangmérnök beveti a *hiperkompresszió* fegyverét, melynek következtében egy zenei hanganyag dinamikája 5 dB körüli lesz. Ez például azt jelenti, hogy egy 16 bites felbontású digitális felvétel mindössze egyetlen bitet használ a hangszintváltozások reprezentálására (**12. ábra;** *Bob Katz*, Digital Domain, Inc. [4])

Az ábrán látható második műsorrészlet egy több millió példányszámban eladott CD-ről lett kimásolva. Állítólag a CD-gyártó üzem vezetője nyilatkozta: „*Ez a CD egy villanykörte, amikor elindul, minden kontrollfény világít, egészen addig, míg nincs vége egy számnak*" [4]

Tehát a műsorszolgáltatóknál (reklámok, előzetesek), CD-készítésnél el-

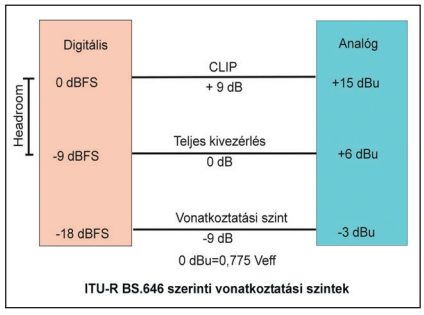


12. ábra

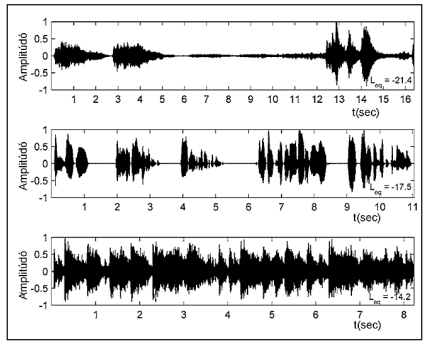
uralkodott az a nézet, amely a „hangerő háború" bölcsője lett: „akkor lesz ütős az anyag, ha nagyot szól". Ezt gondolták a hanganyagok gyártói, de a nézők, hallgatók másképpen éreztek. Felmérésekből kiderült, hogy a rádió-, tévékészülékek hangjának némítása döntő számban pontosan ezeknek a műsoroknak időtartamára esett. Egy másik felmérés azt kutatta, hogy mely hangerő-különbséget tolerál még a hallgató, illetve néző, és milyen hangerőértéknél nyúl a készülék hangerőszabályozójához, hogy halkítsa vagy hangosítsa azt (**13. ábra**).

A hallgatók egyértelmű véleménye olvasható le az ábráról, számszerűsítve. Látható, hogy a „komfort zóna" kb. 8 dB átlag hangerőváltozást tolerál, valamint hogy a nagyobb hangosságra érzékenyebbek a hallgatók, ezért hamarabb nyúlnak a hangerőszabályozóhoz. A fentiek alapján célszerűnek látszott egy hangosságmérő műszert specifikálni és a szükséges hangosságértékeket szabványban rögzíteni, annak érdekében, hogy a hallgatók (nézők) igényeit minél jobban kielégítsék. Az alapelveket az ITU-R BS.1770 és az EBU R128 szabványban rögzítették.

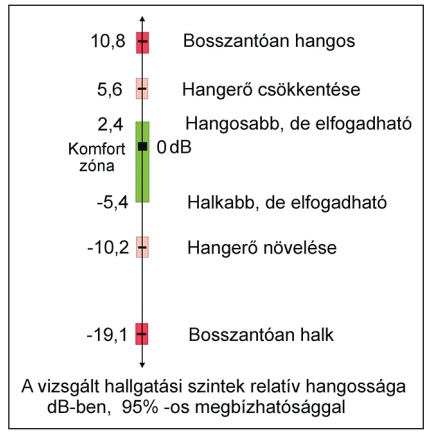
A hangosságmérő műszernek figyelembe kell vennie az emberi hallás érzékenységének frekvenciafüggését, valamint a hallás integráló hatását. Rendelkezésre álltak a különböző



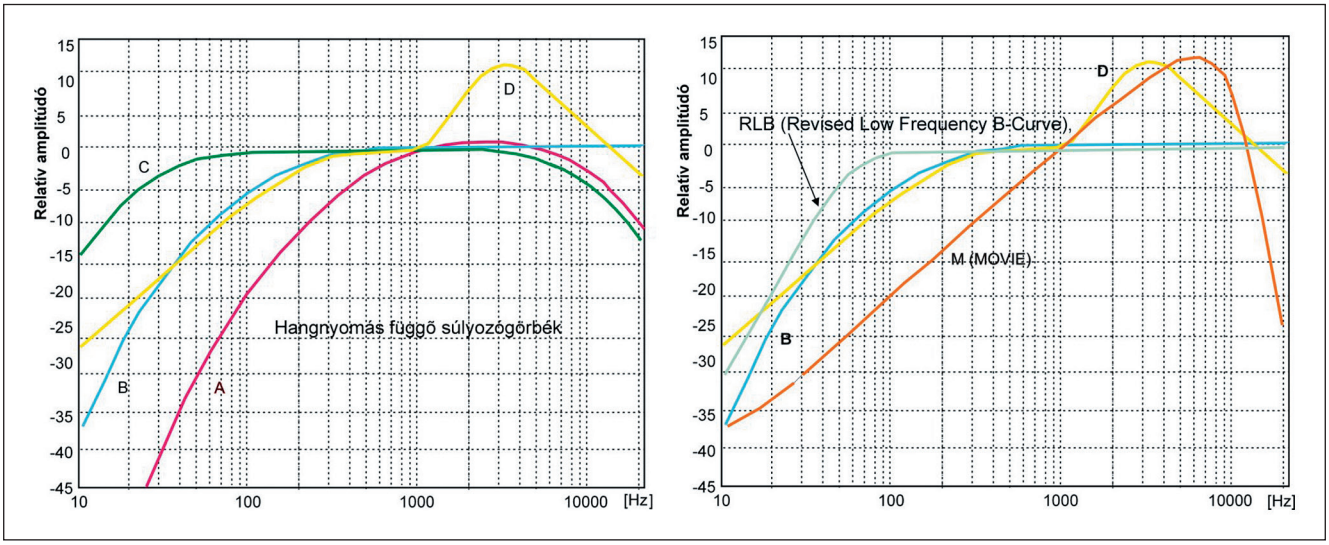
10. ábra



11. ábra



13. ábra



14. ábra

hangosságokhoz tartozó A-B-C-D súlyozó görbék (**14.a ábra**), ezek közül a szokásos rádió/tévé hallgatási hangerőhöz tartozó „B” görbét (60…80 phon) választották ki. A kísérleti mérések alapján két változtatást kellett végrehajtani: egyrészt a *B* görbe felületeresztő szakaszának frekvenciáját lejjebb hangolni, ezt nevezték „Revised Low Frequency B-Curve”-nek (**14.b ábra**) másrészt 1 kHz-től egy 4 dB-es szintnövekedést végeztek a hallás karakterisztikájának megfelelően (**15. ábra**).

Egy gyakran előforduló tévedést kell megelőzni a 15. ábrával kapcsolatban: az eredő görbe elnevezése R2LB (K-görbe), ebben az esetben a „K” betű nem Bob Katz hangmérnökre utal, hanem egyszerűen ez volt az első szabad betű az ABC-ben.

A **16. ábrán** látható az ötcsatornás hangra alkalmas hangosságmérő műszer tömbvázlata. A „K” görbével történő szűrés után a feszültségek effektív értékének összegét kell képezni, ezt jelzi a rajzon az *RMS* felirat.

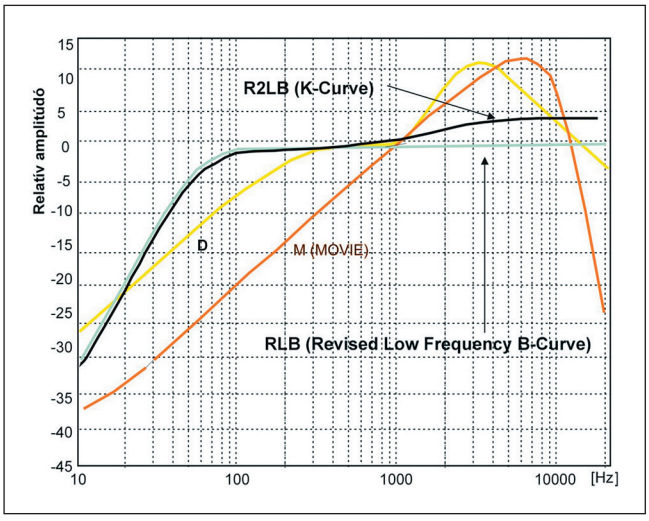
A hátulról érkező hangeffektekre hallásunk érzékenyebb („tiger effect”), ezért mér többet 1,5 dB-lel a műszer a hátulról érkező hanghatásokra.

A program hangosságát relatív egységben, az LU-ban (Loudness Unit) adják meg, az abszolút értéket LUFS-ben (a maximális digitális szinthez viszonyítva) adhatjuk meg. Egy LU megfelel egy decibelnek. A program hangosságát normalizálják –23,0 LUFS = 0 LU célértékre. A hangosság célértéktől ±1 LU-val való eltérése megengedett élő felvételek esetében.

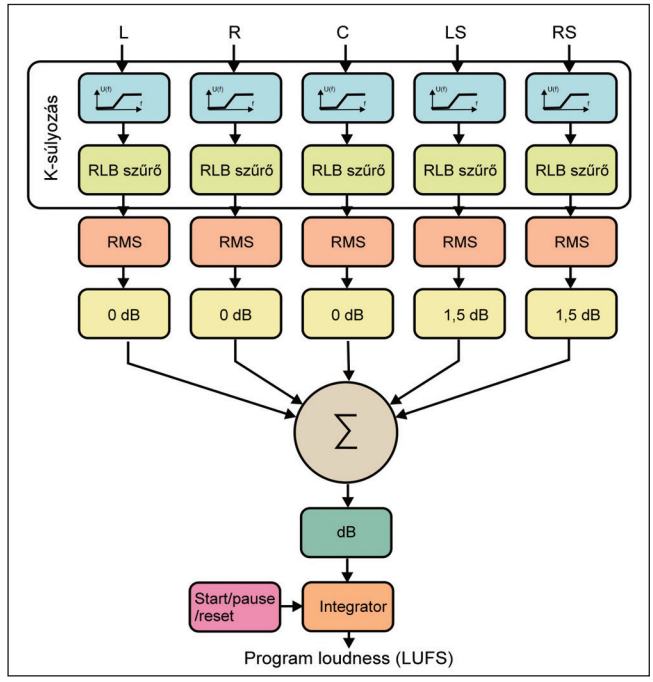
Az új szabvány szerint egy hangfelvételt az alábbiak jellemeznek:

1. Program hangosság (Program Loudness, PL)
2. Megengedett maximális valódi csúcsszint (Maximum True Peak Level, TP)
3. Hangossági tartomány (Loudness Range, LRA)

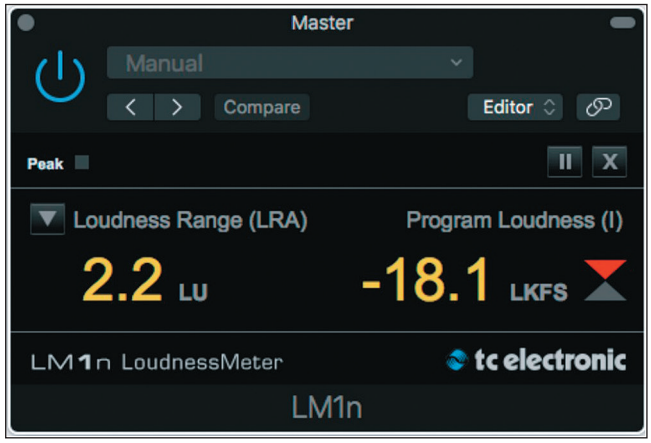
Program hangosság: három időablakot definiálnak a hangosság számításához. A pillanatnyi hangosság (M, momentary) integrációs ideje 400 ms. A rövid távú (S, short) mérés integrációs ideje három másodperc. Az M és S érték szükséges a hangosság



15. ábra



16. ábra



17. ábra

szabványos értékének betartásához, vagyis a *hangosságra való vezérléshez* hangfelvételkor vagy a hanganyag keverésekor. Az integrált hangosság (I) viszont a teljes anyag átlagértéke, azaz a „start"-tól „stop"-ig terjedő időszak átlagos hangossága. Az integrált hangosság célértéke LK = hangossági szint (K-súlyozva) a 0 LU_K relatív vagy a −23 LUFS abszolút érték. Integrált hangosság esetén a –70 LUFS alatt mért értékeket nem veszik figyelembe, ezt a folyamatot abszolút kapuzásnak nevezzük. Azok az értékek, amelyek több mint 10 LU alatt vannak az abszolút kapu szerinti integrált hangosság mérésekor, szintén nem relevánsak a méréshez.

Megengedett maximális valódi csúcsérték: Az EBU R128 irányelve szerint az engedélyezett maximális szint (megengedett maximális szint, PML) –1 dBTP lehet (True Peak).

Ez relatív egységben 22 LU értéknek felel meg. A valódi csúcsot négyszeres túlmintavételezés alkalmazásával határozzuk meg. A magasabb mintavételi frekvencia miatt a digitális szint pontosabban meghatározható, ezért általában nagyobb, mint a hagyományos csúcsmérővel mért érték A méréshez egy True Peak Program mérőt használunk, amelynek gyakorlatilag nincs integrációs ideje.

Hangossági tartomány: a hangossági tartomány leírja a hangossági szintek sokaságát, azaz a nagyon csendes és nagyon hangos hanghatások közötti tartományt. Ez az érték megegyezik a program dinamikájával. A hangossági tartományt az EBU 3342-es műszaki dokumentációja határozza meg: „*Ha a Loudness Range (LRA) kevesebb, mint 5 LU, a program dinamikája alacsony. Az átlagos LRA-érték körülbelül 10 LU. A nagy hangossági tartomány több mint 15 LU-t tartalmaz.*"

A hangossági tartományt az EBU technikai dokumentációja szerint számítják ki az aktuális hangossági szintek statisztikai eloszlása alapján, azaz az előforduló szintek gyakorisága szerint. A szintmérés integrációs ideje három másodperc (rövid távú hangosság). A pontos mérés érdekében az időablakoknak legalább 66%-kal, azaz legalább két másodpercig át kell fedniük egymást. A 95% feletti és a 10% alatti szélsőséges szinteket nem veszik figyelembe, így sem a rövid hangos hatás, mint például a pisztolylövés, sem a zene elhalkulása nem befolyásolja a mérést.

Az LRA érték felhasználható annak meghatározására, hogy szükség van-e dinamikakompresszióra? Az EBU kísérletei kimutatták, hogy a hangossági tartomány nem haladhatja meg a 20 LU értéket.

A hangosságmérőket általában szoftveresen, egy plug-in formájában valósítják meg. A **17. ábrán** a TC Electronic egy egyszerű, szoftver alapú műszere látható.

Az EBU új rendelkezései a hangmérnököket szemléletváltoztatásra késztették. Ha a hangmérnök eddigi munkája során a kivezérlésmérő műszerre támaszkodott, át kellett szoknia a hallására, hiszen az mindig a pillanatnyi, aktuális hangosságot „mutatja", míg a műszer átlagol 0,4 vagy 3 s-ig. Azt a tényt, hogy a műsor átlagos hangossága (−23 LUFS) az előírások szerinti-e, csak a munka befejezése után tudja meg, amikor is a mérőeszköz a teljes műsoridőre volt képes átlagolni a hangosság értékét!

Ráadásul egyszerre kell betartani az elvárt dinamikát (LRA), az átlag hangosságot (−23 LUFS), valamint a maximális kivezérlés értékét (−1 dBTP). Ha nem élő adásról van szó, hanem egy hangfelvételről, ezután mindig az egyes felvett hangsávok súlyozott összeadása („keverés") következik. Csak a teljes anyag meghallgatása után alakíthatja ki a hangi elképzelését, hogy az elkészült hanganyag teljesítse az előbb felsorolt elvárt követelményeket úgy, hogy a kész anyag egy dinamikus, élvezhető, hallgatható műsor hangképét adja.

Fentiek szerint a hanganyag meghallgatása adja a pontos információt, a hangmérnöknek a fejlett hangi memóriájára kell támaszkodnia a keverés során.

Egy jó filmhang-keverő mérnök kivezérlésmérő nélkül is képes dolgozni, és mindezt csupán a lehallgató monitor segítségével végezheti, a kivezérlésmérő egyszerűen csak egy iránymutató segítség a munka során. [4] Ez a módszer csak akkor ad jó eredményt, ha a lehallgatási hangerő egy állandó érték, hiszen ez adja a hangmérnök számára a referencia-hangnyomás értéket. Az lenne a kívánatos, ha nemcsak *egy* stúdióban lenne állandó a nulla LU-hoz tartozó hangosság, hanem minden stúdióban azonos lenne ez az érték. Ennek vizsgálatát végezte a kiváló amerikai hangmérnök Bob Katz, ebből a célból kutatta az optimális lehallgatási hangerő értékét.

A '90-es évek elejétől óriási káosz uralkodott a különböző médiumoknál a megfelelő hangosság tekintetében. A már említett hangosság-háború (loudness war) által produkált kis dinamikájú, őrjítően nagy hangosságú műsorrészek pontosan az ellenkező hatást váltották ki a hallgatóknál, kikapcsolták, vagy lehalkították az adott reklámot vagy zenei anyagot. A „sikeres" CD-k dinamika tartománya mindössze 5-6 dB volt, az első taktustól az utolsóig egy mesterségesen „normalizált" anyagot tartalmazott a lemez.

Szerencsére a hangszakmának van egy olyan területe, ahol rend uralkodik, ez pedig a filmhang. A Dolby Laboratórium felismerte az analóg filmhang egy nagy hátrányát, a rossz jelzaj viszonyt, először ezen javítottak a saját, nagyon hatékonyan működő zajcsökkentő rendszereikkel, kezdetben a DOLBY A, később a DOLBY SR eljárással. Nem titkolt célja volt a filmhang javításának az is, hogy a mozi visszahódítsa a nézőket a tévékészülékek elől. Ennek szellemében hozta létre a Dolby cég a többcsatornás filmhangot, először négy, később a hat, majd hét hangcsatornára épülő produkciókat. Pontos feltételrendszert alakítottak ki, ennek egy része technikai jellegű volt, mely a mozitermek frekvenciamenetét, valamint a csatornánkénti hangnyomást írta elő. Mindegyik filmhang-keverésre egy hangi konzultánst delegált a Dolby cég, aki

segített a hangmérnöknek a megfelelő kivezérlés és dinamika megteremtésében, illetve a hangesemény csatornákra való megfelelő szétosztásában.

A ’70-es évek közepén, a Dolby cég vezető konzultánsa, *Ioan Allen* határozta meg sok kísérlet elvégzése után a szükséges csatornánkénti hangnyomást. Annak érdekében, hogy a mérés bármelyik moziteremben könnyen elvégezhető legyen, egyszerű mérőjelet kellett alkalmazni. Így esett a választás az 1 kHz-es szinuszjelre, amelynek a maximális kivezérlésnél (0 dB-nél) 85 dBC hangnyomást kellett előállítania, csatornánként. A „C” betű a 14. ábrán bemutatott „C” súlyozó görbét jelenti, a dB érték vonatkoztatási szintje pedig az 1 kHz-en mérhető hallásküszöb értéke: 20,6 uPa.

Ekkor még a hangrögzítés analóg módon történt, mágnesszalagon, ezért 0 dB értékű volt a maximális kivezérlés értéke, ezt 6…8 dB-lel meghaladó szintek nem okoztak katasztrofális torzítást a mágnesszalag tulajdonságainak köszönhetően. Csak a digitális hangrögzítés bevezetésekor alakult ki a -20 dBFS (Európában a −18 dBFS) „nulla szint”, ugyanis a 0 dBFS érték feletti amplitúdójú jelek jelentős torzítást szenvedtek a D/A konverzió után.

Katz úgy vélte, hogy a filmhang keverése során ugyanolyan lehallgatási körülményeket kell biztosítani, mintha a hangmérnök a moziban ülne, és nézőként hallgatná-nézné a filmet. Ennek megerősítésére szeretett volna meggyőződni, hogy a „mágikus 85 dB” tényleg a megfelelő hangnyomásérték-e? Úgy gondolta, hogy a kísérletet gyakorló hang-szakemberekkel végzi el, erre a legmegfelelőbb alkalom egy AES (Audio Engineering Society) konferencia volt.

1983-ban az AES workshop műhelyvezetőjeként Bob Katz felkérte *Tomlinson Holman*-t (a THX követelményrendszer megalkotója, Tomlison Holman eXperiments) a Lucasfilmből, hogy mutassák be a „Csillagok háborúja” című filmben előforduló hangeffekteket. A Dolby rendszermérnökei két napig munkálkodtak a lejátszó rendszer kalibrálásán a New York-i Ziegfeld filmszínházban. Több mint 1000 konferencia-résztvevő töltötte meg a filmszínház nézőterét. A demonstráció végén Tomlinson Holman a következő kérdéseket tette fel:

– *Hányan gondolták, hogy a hang túl hangos volt?* Körülbelül 4 kéz emelkedett fel.

– *Hányan gondolták, hogy túl halk volt?* Egy kéz sem volt a magasban

– *Hányan gondolták, hogy megfelelő volt a hangerő?* Erre a kérdésre 996 hangmérnök emelte fel a kezét.

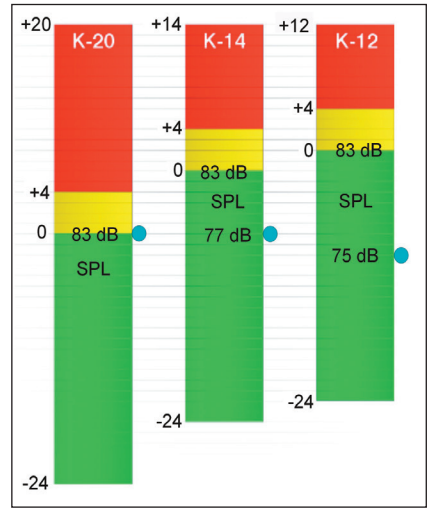
Ez nagyon meggyőző bizonyíték volt arra, hogy a 85 dB 0 VU szabvány kiállta az idő próbáját. [4]

Amikor a digitális technológia elérte a filmszínházat is (DOLBY DIGITAL, SRD), a Dolby a 85 dB-es kalibrálást a digitális skála alatti -20 dB-es ponton (-20 dBFS) rögzítette. Ezt a kalibrálást átlagoló mérővel (nem csúcsmérővel) kellett végezni, egyszerre egy csatorna lejátszásával, és az SPL-mérő lassú átlagolásával, valamint „C” súlyozással.

Később, a mérési technológiák finomítása (rózsazaj-mérőjel, valódi effektív érték) azt eredményezte, hogy a 85 dB helyett 83 dB lett a helyes mért érték, de a hangnyomás-érzet természetesen ugyanaz maradt!

Katz úgy vélte, hogy a kivezérlésmérők műszaki paramétereit és használatát is át kell alakítani a „K” rendszerhez alkalmazkodva. Célszerű lenne, ha a műszer effektív értéket mérne, ennek érdekében az integrációs időt 600 ms-ban állapította meg. Több cég, amely ma hang-munkaállomást tervez és gyárt, szoftver alapú valódi effektívérték-mérőt ajánl termékeihez.

A nulla szint megfelel az SMPTE által ajánlott −20 dBFS értéknek, ehhez van rendelve a 83 dB SPL lehallgató hangnyomás. A kivezérlésmérő színeinek választása sem véletlen: a jel effektív értékének a zöld tartományban kell maradni normális, átlagos szinteknél, a hangos részletek lehetnek a sárga, a kiugróan hangos effektek kivezérlése futhat bele a piros tartományba. Miután effektív érték mérésről van szó, joggal beszélhetünk a hangeffektek „crest faktoráról”. Kísérletek szerint a beszéd 6…8, a zene és zörejek 9…16 dB crest faktorral rendelkeznek. Vagyis a skála kialakítása ezeket az értékeket messzemenően figyelembe veszi. Ha a kivezérlésértékek maximum-minimum értékeit vizsgáljuk, megállapítható, hogy a dinamika 44 dB, amely igazodik a mozik akusztikus jel-zaj viszonyához. Ezért ajánlja Bob Katz a nagy dinamikájú, nagy teremben előadott műsorok keverésekor a K-20 műszer- és monitorbeállítást (**18. ábra**). Az ábrán a különböző rendszerek monitor-hangnyomás értékét a skála mellé rajzolt kék köröcske jelzi. [5]



18. ábra

A Dolby cég nemcsak a mozik hangzását felügyelte, és írta elő, hanem a házimozi-rendszerekre is figyelmet fordított, hiszen a lakásokban ugyanaz történt „kicsiben”, mint a nagy filmszínházak termeiben. A többcsatornás hangzás megteremtésén kívül figyelembe kellett venni a lakásokban előforduló hangnyomás értékét is. Mivel adott gerjesztés esetében a hang intenzitása a terem utánzengési idejével egyenesen arányos, a terem köbtartalmával pedig fordított arányban áll, felül kellett vizsgálni a 83 dB-es hangnyomás értékét. Sok számolás és kontrollmérés után arra a megállapításra jutott a cég, hogy a „szokásos” méretű szobák esetében a 83 dB SPL értéket 6 dB-lel csökkenteni kell, ekkor alakul ki körülbelül az a hangérzet, mint a mozikban. A fele nagyságú hangnyomás viszont azt eredményezheti, hogy a csendesebb részek esetleg elvesznek a film hangjából. Ezt a tényt egy jól választott, óvatos dinamikakompresszióval kompenzálni lehet.

Katz rendszerében is érvényesül a −6 dB lehallgató hangnyomás, de a −20 dB-es „nulla szint”−14 dB-re módosul. A normál jelek kivezérlési tartománya ugyanúgy 24 dB, mint a K-20 rendszernél, viszont a túlvezérlési tartalék a 20 dB helyett csak 14 dB. Az esetleges túlvezérlési lehetőségeket az alkalmazott dinamikakompresszor/limiter megszünteti. A K-14 beállítás Katz szerint a viszonylag nagy dinamikájú, igényes könnyűzene-popzene keverésénél használható, illetve a házimozi-rendszerek lehallgató rendszereinél.

A Katz-rendszer utolsó eleme a műsorsugárzás lehallgatási és kive-

zérlési értékeit meghatározó K-12 skála. A környezet lecsökkent jel-zaj viszonya miatt egy erősebb dinamikakompresszió szükséges, valamint a kisebb lehallgató helyiségek (konyha, gépkocsi) miatt a hangnyomást további két decibellel csökkenteni kellett a K-14 rendszerhez képest. A túlvezérlési tartalék ennél a rendszernél már csak 12 dB, de ez nem okoz problémát az erősebb kompreszszió és a limiter hatása miatt. [4]

Áttekintve az elmúlt évtizedek kivezérlési gyakorlatát megállapíthatjuk, hogy a VU mérő használata, mint kiindulás, igyekezett az azonos hangosságú rádióműsort létrehozni. Hogy közben rövid időre túlvezérelték az adókészüléket, a mérnökök (és a rádióhallgatók) szerint nem volt „tragikus", hallható következménye.

Ezt a korszakot követte a QPPM egyeduralma, a műszer biztosította a túlvezérlések biztos elkerülését, de a hangosságról semmilyen információt nem adott. Emiatt a hangmérnökök kizárólag a hallásukra támaszkodhattak, hogy a hallgatók számára kellemesen egyenletes hangosságot biztosítsanak. Ennek a célnak az elérése hangmérnöktől függően hol sikerült, hol nem.

A digitális jelfeldolgozás elterjedésével ugyanaz történt, mint sok, újat hozó technológiai váltásnál, amikor is a technológiában rejtőző kiváló lehetőségeket néha rosszul használtuk ki. Kialakult a „hangerő-háború", annak minden káros és haszontalan következményével.

Két szervezet, az ITU és az EBU megelégelte azt a gyakorlatot, hogy a rádió- és tévéadók műsoraiban hatalmas hangosságugrások vannak. Kialakítottak egy hangosságmérő rendszert, amely maximálisan figyelembe vette az emberi hallás sajátosságait. Kötelezték az adóállomások üzemeltetőit az előírt paraméterek betartására, olyannyira, hogy a „renitensekkel" szemben szankciókat is alkalmaztak.

A két szervezet által kidolgozott hangosság mérésének és kivezérlésének alapelve nagyon átgondolt volt, de a valós időben történő használata erősen megkérdőjelezhető. A hangmérnök ismét csak a hallására volt utalva, ha minőségi hangot szeretett volna produkálni, vagyis szép lassan *visszatértünk a „VU METER-korszak"-hoz*.

A '80-as évek közepétől foglalkozott Bob Katz a lehallgató monitorok hangerősségének szabványosításával. Tette ezt azért, mert belátta, hogy a kivezérlésmérő műszer csak egy kalibrálási lehetőséget nyújt a hangmérnök számára, műsor közbeni használata pedig hasznos, de csak egyfajta iránymutatást ad *a hallásra történő kivezérlés során.*

A szerzőnek számos hangmérnök ismerőse van, ezért végzett egy „magán felmérést", a kivezérlésmérők felvétel és keverés során történő felhasználásáról. A megkérdezettek többsége beszerzett minden lehetséges mérőműszert, hogy az elkészült hanganyagot *utólag* ellenőrizze, de bevallásuk szerint a -18 dBFS kalibráció után legtöbben *egy VU mérőt és a hallásukat használják a helyes kivezérlés, valamint az élvezhető hanganyag előállítására.*

Felhasznált irodalom:

1. Implementierung von Lautheitsmessung nach EBU-R128 in das Landesfunkhaus Sachsen des MDR, Katja Mühle, 2012.
2. Weinzierl 2008._Handbuch_K10_Aufnahmeverfahren
3. http://www.digido.com/how-to2-make-be...gs-part-2.html
4. An Integrated Approach to Mete-ring, Monitoring, and Levelling Prac-tices Bob Katz, Digital Domain, Inc.
5. MeterPlugs: K-System Metering 101, 2016

Az ábrák forrása:

1. ábra: [4]
2. ábra:https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sifam_Type_32A_DIN_scale_PPM.jpg
3. ábra: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sifam.type34A.British.ppm.jpg
4. ábra: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sifam_Type_24A_Nordic_scale_PPM.jpg
5. ábra: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sifam_Type_22A_EBU_scale_PPM.jpg
6., 8., 11. ábra: [2]
7, 16. ábra: Guidelines for production of programmes in accordance with EBU R 128, Geneva 2016.
10. ábra: [1]
12. ábra: [3]
13. ábra: AES Convention Paper Presented at the 115th Convention 2003 October 10–13 New York
17. ábra: TC Electronic, Products, LM1N
18. ábra: MeterPlugs: K-System Metering 101, 2016

A 2020-as digitális CMOS áramkörök, a jövő lehetőségei

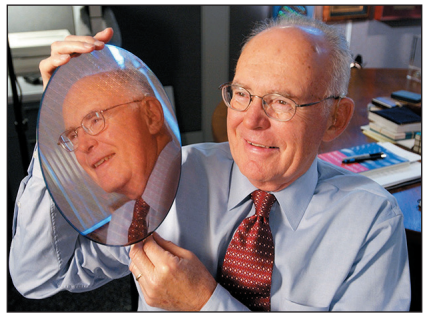
Dr. Madarász László okl. villamosmérnök, madarasz@3lan.hu

*Sorozatunk első részében [1] láttuk, hogyan fejlődött a mikroelektronika 2000-ig, hogyan jelent meg a CMOS kapcsolástechnika és hogyan vált egyeduralkodóvá a digitális integrált áramkörök fejlesztésében, gyártásában. Arra, hogy a később megjelenő CMOS IC-k miért vették át a bipoláris áramköri megoldásoktól a vezetést, egy szemléltető példa az IBM két, eltérő áramköri technológiával megépített S/390 rendszerének összehasonlítása (***Táblázat***). A skálázható CMOS áramkörök megteremtették a lehetőségét annak, hogy kétévente a csipre integrálható tranzisztorok száma megduplázódhasson, miközben a processzorok egyéb paraméterei, a sebességük, a fogyasztásuk, az áruk, a méreteik is a felhasználók számára kedvezően alakultak. A második részben [2] azt mutattuk be, hogy a CMOS áramkörök, elsősorban a processzorok számítástechnikai hatékonysága exponenciálisan fejlődött 2000-2020 között is. Láttuk, hogyan oldották meg a kutatók és a mérnökök az egyre kisebb tranzisztorok létrehozását, gyárthatóságát. Megismertük a Moore-törvényt, amely a fejlődés trendjét írta le, és azt is bemutattuk, hogy a digitális integrált áramkörök a CMOS áramköri technológiának köszönhetően olyan fejlődési ütemet mutattak és mutatnak ma is, amilyenre semmilyen másik technikai ág nem képes.*

A rendkívüli fejlődési ütemet leíró Moore-törvény egy korai zseniális felismerés volt 1965-ben, majd az iparágra jellemző törvényszerűség, később a csipgyártás innovációs alapja, végül pedig követelményrendszerré vált.

	ES/9000 9X2	S/390 G6
Technológia	Bipoláris	CMOS
Beépített IC-k száma	5000	31
Összes aktív alkatrész	6659	92
Tömeg, kg	14 127	933
Fogyasztás, kVA	153	5,5
Processzort alkotó IC-k száma	390	1
Lehetséges memóriakiépítés, GiB	10	32
Alapterület, m^2	62	5

Táblázat



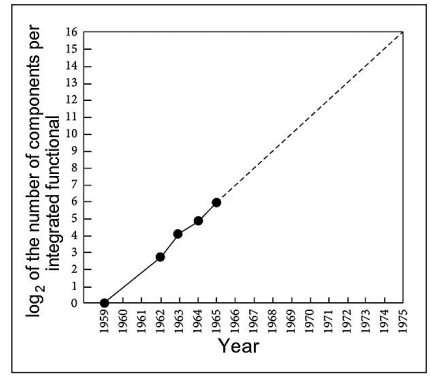
1. ábra

Amikor az elmúlt években a Moore-törvény végéről, haláláról cikkeznek sokan, minden esetben arra hivatkoznak, hogy a CMOS áramkörök skálázhatóságának végére értünk, nem lehet kisebb MOSFET-eket előállítani. Ezzel kapcsolatban érdemes a kezdetekre egy pillantást vetni! Gordon Earle Moore (aki később az Intel egyik alapítója) tanulmánya, amelyben a sejtéséről írt, az Electronics Magazine 1965 április 19-i számában jelent meg. Igaz, a CMOS kapcsolástechnikai megoldást 1963-ban találták fel Chih-Tang Sah és Frank M. Wanlass amerikai kutatók. A CMOS integrált áramkörök azonban még messze voltak ekkor! A szabadalmi leírás is, a demonstrációs előadások is diszkrét MOSFET-ekkel szemléltették az újszerű kapcsolási megoldást. Az első CMOS integrált áramköröket csak 1968-ban kezdte forgalmazni az RCA. Magát Moore-t is meglepte később, mennyire időálló a sejtése, amit később már törvényként kezeltek (**1. ábra**: a 77 éves Moore).

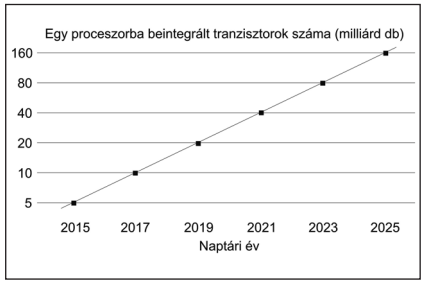
Moore tehát a kora integrált áramköreit, a Fairchild cég IC-it vizsgálhatta csak (**2. ábra**), a CMOS technológiát nem ismerhette. Akkor kapcsolódott össze a Moore törvény és a CMOS technológia története, amikor megjelentek a CMOS mikroprocesszorok. Bár sorozatunk a CMOS technológiával foglalkozik, természetes, hogy a Moore-törvény beteljesedését is figyelemmel kell kísérnünk közben.

Az is tény, hogy a Moore-törvény mindenhatóságában nagy szerepe van az Intelnek, mint a processzorgyártás éllovasának. A nemzetközi fejlesztési menetrendeket megfogalmazó IRDS (korábban ITRS) is jelentős Intel-befolyás alatt áll, ez a szervezet is hozzájárult a Moore-törvény szerinti feszített ütemű fejlesztés kikényszerítéséhez. Ha az Intel ilyen ütemben fejleszt, a versenytársak sem maradhatnak le! A CMOS technológia mérföldköveit (melyeknek több megnevezése ismert, pl. Process Node, Technology Node) egy jelképes hosszúságértékkel jelzik, amely az adott technológiai megoldás méreteire csak nagyságrendileg utal. Az ITRS is ezekhez kapcsolódva írja le a következő technológiai megoldások paramétereit, anyagait, megoldási módszereit. Az Intel 2020-ban ért el a 10 nm-es szint és a 7 nm-es határvonalára, amiről a továbbiakban szólunk majd.

A ma gyártott MOSFET-ek 20-szor kisebbek, és 20-szor gyorsabbak, mint a 20 évvel ezelőttiek, a csip felületén elfoglalt területük pedig századrészre



2. ábra



3. ábra

csökkent. Természetesen el kell fogadni, hogy ez a folyamatos méretcsökkenés (scaling) nem állhat fenn akármeddig. A scaling ütemének csökkenésére, sőt, a méretcsökkentés határának bekövetkezésére vonatkozó jóslatok azonban eddig mindig tévesnek bizonyultak. A becsült határ kitolódása majdnem olyan ütemben történt meg az elmúlt évtizedekben, mint a tranzisztorok méretének csökkenése.

Ugyanakkor érezhető egy jelentős fordulat. Az előző 50 évben mindig igaz volt, hogy a csökkentett méretű tranzisztorok jobb minőséget jelentettek. A 2010-es évek végére új helyzet körvonalazódik, már nem egyértelmű, hogy az egy tranzisztorra eső költség csökken a skálázás hatására, az új processzorok várhatóan relatíve drágábbak lesznek. Más kellemetlenségek is jelentkeznek, csökken a megbízhatóság, nő a gyártás közbeni hibaszám, a processzorban keletkező hő pedig aránytalanul megnő. Valami megváltozott a CMOS áramkörök fejlesztése során. Mindez a 10 nm-ről a 7 nm-re történő váltáskor válik meghatározóvá.

A 7 nm-es CMOS IC előállításának kulcseleme a nagyobb felbontású EUVL (extrém UV litográfia), a gazdaságos gyártás előfeltétele pedig a nagyobb szeletek használata. Az IBM kísérleti műhelyeiben már készült 7 nm-es CMOS áramkör, sőt, a kutatók már kidolgozták az 5 nm-es tranzisztor felépítését is, de a tömeggyártásra alkalmas változatokon még sokat kell dolgozni. A TSMC és a Samsung is dolgozik a 7 nm-es megoldásokon, de egyelőre a laboratóriumokban. Az Intel is kitolta a 7 nm-res csipek megjelentetését.

A csipgyártás már évtizedek óta a mikrovilágból átlépett a nanovilágba, így termékei sem annyira mikroelektronikai alkotások, inkább nanotechnológiaiak. A méretcsökkenésnek számos kedvező hatása van, de egyre inkább tapasztalhatóak a negatív következmények is. Minderről már olvashattak a sorozatban, és ebben a részben további adalékokkal is szolgálunk majd.

Egy érdekes számsor elöljáróban. A félvezetős áramkörök tervezése a félvezetők belsejében lejátszódó folyamatokra épít, amit a felszíni hatások csak torzítanak, a tervezésüket nehezítik. Mindez a mikroelektronika világában még nem okozott nagy gondot. Mára azonban, a nanotechnika méretvilágában megváltozott a helyzet, eltolódtak az arányok. Ha az atomok általános távolságát 0,25 nm-nek tekintjük, akkor az egy köbcentiméteres kocka felszínén és a belsejében levő atomok számának aránya $1{,}5 \cdot 10^{-7}$. Ha a kocka oldalhosszúsága 1 μm, a felszíni és a belső atomok számának aránya már csak $1{,}5 \cdot 10^{-3}$. Az 1 nm-es oldalélű kocka esetén az arányszám 0,875, azaz a félvezető anyag belsejében levő atomok száma alig nagyobb, mint a felszínen levőké. A felszíni hatások így sokkal erőteljesebbek. És ez a rendkívül kis méreteknek csak az egyik hatása!

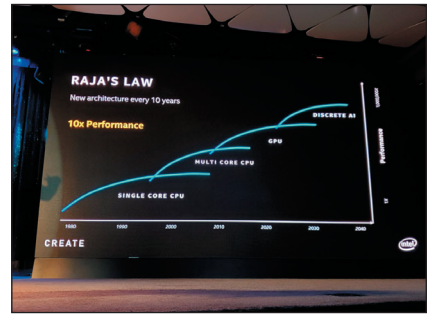
Visszatérve a közeljövő vizsgálatára, ha egyszerűen meghúzzuk a Moore-törvényt reprezentáló egyenest egy grafikonokon, óriási tranzisztorszámokat kapunk már a közeli évekre is (**3. ábra**). Ugyanakkor egyre többen felvetik, hogy van ennek értelme? A processzorokra újabb áramköri megoldásokat már egy ideje nem telepítenek, a szoftverfejlesztés még nem képes a mai processzorok minden képességét sem kihasználni. Inkább a kisebb fogyasztás, nagyobb sebesség, olcsóbb kivitel lehetne a cél. Nincs szükség a tranzisztorszám eddigi ütemű növelésére, azaz előbb-utóbb értelmét veszítheti a Moore-törvény.

50 év alatt a Moore-törvény az informatikai hardver teljesítőképessége növekedésének a jelképévé vált, ebben az értelemben viszont várhatóan még igen hosszú életű lehet. Változhatnak az áramköri megoldások, a tranzisztorstruktúrák, a felhasznált alapelvek, anyagok. De a lényeg, a számítási teljesítmény töretlen növekedése megmaradhat. És ebben a fejlődésben még néhány évig a CMOS lesz a fejlesztők és gyártók eszköze!

Akik pedig arról gondolkodnak, mi jöhet a CMOS után, tulajdonképpen nem mind gondolnak ugyanarra. Vannak, akik új kapcsolási megoldás alkalmazását várják, mások a kapcsolóelemek cseréjét (a szilícium kapcsolótranzisztorok helyett más elemeket), de vannak, akik az Intel által vezényelt exponenciális fejlődés, a skálázás viszszafogását, esetleg megszűnését vetítik előre. Mindenesetre várhatóan még éveken át a processzorok áramköri megoldásait a CMOS-alapok biztosítják.

Érdekes, hogy a Moore-törvény eredményeinek más megfogalmazása új törvényszerűségek felismerésére is vezethet. Ismeretes pl. a *Gordon Bell* amerikai számítástechnikai mérnök nevéhez köthető Bell-törvény, amelyik az 1972-2000 évek során az informatikai hardver fejlődésében felfedezhető tapasztalatokra épül. Röviden azt mondja ki ez a törvény, hogy minden évtizedben megjelenik egy új osztálya a számítógépeknek, olyan új eszközök, amiknek a mérete az előzőekhez képest jelentősen csökken, a számítástechnikai képességeik viszont ugrásszerűen megnőttek, mindezek ellenére az áruk viszonylag alacsony. Néhány fontosabb állomás, amit ez a törvényszerűség felmutat: a csöves és tranzisztoros számítógépek (1950-es évek), az asztali számítógépek (1960-as évek), az 1970-es évek munkaállomásai, majd a személyi számítógépek (1980-as évek), az 1990-es években a laptop, majd a mobil telefon, a 2000-es évtizedben az okostelefon, s a 2010-es évtizedben az intelligens smart-szenzorok. Igaz, hogy ezek a fejlődési lépcsők egyértelműen a processzorok fejlődésére, azaz a Moore-törvény eredményeire épülnek.

Az Intel vezető csiptervezője, *Raja Koduri* is megfogalmazott egy törvényszerűséget. Ez a processzorok architektúrájára vonatkozik, és abban mutat 10-20 évenként egy jelentős váltást. Megfigyelései (és így a Raja-törvény) szerint az 1990-es évtized csúcstermékei az egymagos, egyre komolyabb képességű processzorok, a 2010-es éveké a többmagos megoldás, jelenleg a GPU-jelleg vezeti a processzorok listáját, a következő lépcsőt pedig a „diszkrét mesterséges intelligencia" (Discrete AI) nyújtja majd (**4. ábra**). Ezek az eszközök kb. 10-szeres számítástech-



4. ábra

nikai hatékonyság-növekedést jelentenek. A Moore-törvény hívei természetesen e mögött is a skálázható CMOS áramkörök újabb és újabb lehetőségeit látják érvényesülni.

1. A processzorgyártók jövőképe

A processzorgyártás jövőjével kapcsolatban nagyon sok jóslatot, becslést lehet olvasni, különféle elemzők és gyártók, kutatók írásait. Az eddigiekben elsősorban az Intel eredményeire és tényekedésére figyeltünk. Az Intel a processzorok termelésének legnagyobb szereplője, a Moore-törvény elkötelezett híve. De valóban az Intel a legnagyobb gyártó a piacon?

Azt a legtöbb gazdasági elemző egyformán állítja, hogy pillanatnyilag az Intel és a Samsung a két legnagyobb processzorgyártó, az elsőség azonban nem egyértelmű. Az utóbbi években a két óriáscég felváltva vezette az élmezőnyt. 2016-ig az Intel fölénye egyértelmű volt, de a 2017-es év a Samsung győzelmével zárult, 69,1 milliárd dollár jövedelmet mutatott fel az Intel 62,8 milliárdjával szemben.

Az Investopedia.com gazdasági elemző oldal minden év elején összeállítja a különböző termelési ágazatok toplistáját, így 2020 márciusában is kiadták a félvezetőgyártás 10 legnagyobb szereplőjének névsorát, a gyártók által megadott értékesítési adatok alapján. Megjegyzik, hogy ezek a számadatok nem azonosak a cégek bevételeivel, mert egyéb forrásokból is származhat jövedelmük.

Kimutatásaik szerint a sor élén a Samsung áll. A koreai cégnek 70 önálló vállalata van, melyek a termékek széles skáláját fedik le, beleértve az okostelefonokat és a televízióvevőket is, a csipgyártás területén a processzorok mellett a világ egyik legnagyobb DRAM termelője a konglomerátum. A Samsung 2019-es forgalmazása az értékelés szerint 75,7 milliárd dollár volt.

5. ábra

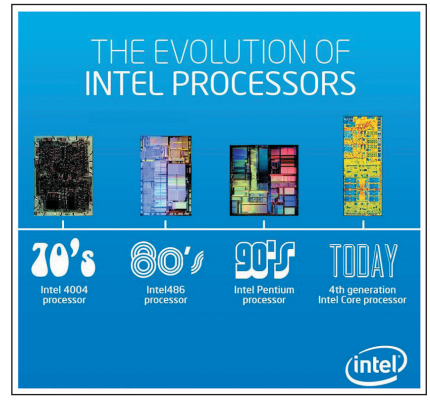
Az Investopedia listájában így az Intel második helyre került, 69,8 milliárd dolláros eladási értékével. Igaz, hogy a processzorgyártás hatalmassága készülékek előállításával nem foglalkozik; a csipgyártás különböző területein aktív, elsősorban a számítógépek különféle osztályaiba szánt processzorokéban, az alaplapok IC-készleteiben (chip-set), a hálózati vezérlőkben.

Az Investopedia adatai szerint a harmadik helyen a Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC; **5. ábra**) áll, 34,2 milliárd dolláros forgalmazással. Mint tudjuk, az Intel is, a Samsung is jelentős összegeket fektet saját kutatásokba, folyamatosan dolgoznak az újabb megoldások keresésén. A TSMC ún. „pure-play" cég, amelyik nem rendelkezik saját tervezési részleggel, viszont a legújabb fejlesztésű gyártósorokkal áll partnerei rendelkezésére. Jelentős félvezetőgyártók szervezik ki a gyártást a TSMC-hez, így tőkéjüket elsősorban a kutatásra, fejlesztésre, tervezésre tudják fordítani. A TSMC vállalkozik processzorok, mikrovezérlők, digitális jelprocesszorok, analóg és vegyes technológiájú speciális áramkörök, különleges memória IC-k, RF és multimédiás áramkörök legyártására, bevétele évről évre jelentősen növekszik.

Egy másik neves gazdasági elemző, a Gartner, Inc. kimutatása szerint viszont egyértelműen az Intel a 2019-es gazdasági év nyertese. Az ő vizsgálatuk szerint a Samsung 2017-ben és 2018-ban elvette az elsőséget az Inteltől, de 2019-ben fordult a kocka. A Samsung bevételei ebben a kimutatásban 52 milliárd dollárt tettek ki, míg az Intel 65 milliárd dollár felett teljesített. Így az előző 25 éves vezető hely kis szünet után ismét visszakerült a mikroprocesszort feltaláló céghez, bár nem valószínű, hogy újabb 25 évre meg is tudja tartani ezt a pozíciót.

Mindezek alapján továbbra is elsősorban az Intel eredményeire és terveire koncentrálunk, miközben a CMOS sorsát vizsgáljuk (**6. ábra**).

2015-ben az Intel vezető munkatársai megfogalmazták azt a jövendölést, hogy a 7 nm-es mérföldkő lesz a CMOS fejlesztés utolsó lépcsője (kb. 2020-ban), ahol a Moore-törvény érvényessége is megszűnik. Azt követően a szilícium MOSFET-ekre épülő fejlesztés lehetetlenné válik. A 7 nm-es csipen

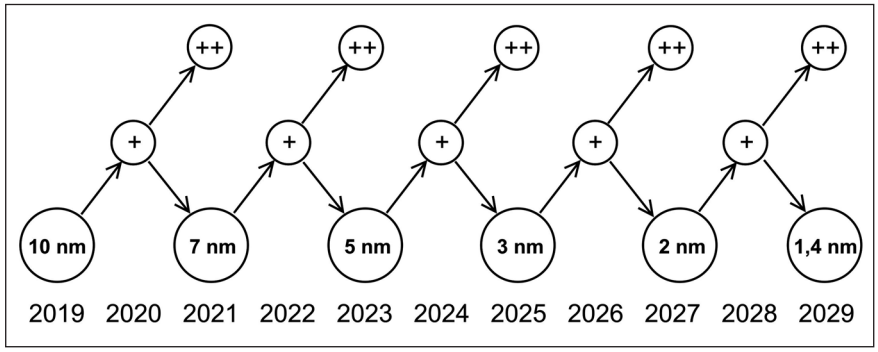


6. ábra

a tranzisztorok már olyan közel helyezkednek el egymáshoz, hogy a tranzisztorok közötti alagúthatás is lehetetlenné teszi a további méretcsökkentést, nem beszélve a tranzisztorokon belüli negatív hatásokról. A megoldás újszerű anyagokra épülő elektronika lehet, vagy teljesen újszerű kapcsolóelemek kifejlesztése.

A következő években látványosan lelassult az Intel fejlesztő tevékenysége, az új mérföldkövek bevezetése egyre távolabb került. Ugyanakkor több új együttműködési megállapodás is született. Az Intel együttműködési szerződést kötött pl. az Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC, Leuven, Belgium) kutatóközponttal, amely az új félvezetőanyagok kutatásában élenjáró eredményeket tud felmutatni. Egy másik új szerződéses kapcsolat az Intel és a Tyndall Nemzeti Intézet (Cork, Írország) között jött létre, ennek révén újszerű kapcsolóelemek kialakítására kerülhet sor a hagyományos MOSFET-ek kiváltására.

A mai nyilatkozataikban már ismét a CMOS további fejlesztéséről, a Moore-törvény érvényességének határozatlan időre történő meghosszabbításáról beszélnek az Intel mérnökei. Igaz, a korábban elképzelt fejlesztési lépések kissé lassabban valósulnak meg. A tranzisztorok átalakításán kívül több más lépést is bejelentettek. Megvizsgálják pl. a processzorok analóg áramköri részleteit, amelyek eddig kimaradtak a méretcsökkentésből. Ilyenek a hőmérséklet érzékelésével foglalkozó részletek, a teljesítményelosztást vezérlő áramkörök, a feszültség-vezérelt oszcillátorok, PLL egységek. Mindezeket a továbbiakban megkísérlik digitális áramköri részletekre lecserélni. Ahol ez nem megoldható, ott analóg/digitális hibrid áramköri megoldásokat keresnek. Természetesen a tranzisztorok



7. ábra

is változni fognak. A jelenleg általános FinFET-eket követik a csatornát teljesen körülvevő GAA elrendezések, ezek különféle módozatai. Egy másik lehetséges lépés a már kialakult tranzisztor-szerkezetek egymásra pakolása (stacking). Lehetséges, hogy egy tranzisztor helyén egy CMOS tranzisztorpáros elhelyezhető legyen így, a PMOS és az NMOS FET is, egymás felett.

Egy másik elképzelés szerint nemcsak a tranzisztorok méretét kell csökkenteni, hanem rendszer-méretcsökkentési lépéseket kell végrehajtani! Át kell gondolni a tranzisztorok kapcsolatait a csipeken belül és az IC-k közötti adatkapcsolatokat is. Azt is elhatározta az Intel, hogy kihasználja azt az előnyt, hogy a fejlesztés minden lépése a cég keretein belül folyik. Így az új processzor-architektúrák és a következő mérföldkövet megvalósító tranzisztorok fejlesztése egymásra figyelve, együttműködve valósulhat meg, ami hatalmas előnyt nyújt a versenytársakkal szemben!

Jelenleg az Intel merészen a 10 nm-es mérföldkő utáni eseményekre koncentrál. A már korábban is megjelent „köztes csomópontok” használatával, tervei szerint, tartósan képes lesz a Moore-törvénynek megfelelő fejlesztésekre, az egyre kisebb méretek elérésére. 2020-ban még a 10 nm-es tranzisztorokkal folyik a gyártás, majd ezek továbbfejlesztett, 10nm+ és 10nm++ változataival. Idő közben azonban a 7 nm-es tranzisztorok a kutatási, majd fejlesztési fázisból gyártásba kerülnek, így 2021-re már várható az első ilyen processzorok megjelenése is. Ha késnének, a 10nm++ technológia egy időre még kielégíti a fogyasztókat! Hasonló módon alakul a kutatás-fejlesztés, gyártás szervezése a továbbiakban is, így 2029-ben már 1,4 nm-es processzorokat kínál majd megvételre a cég. A 2020 elején tartott roadshow-sorozatban már így mutatja be a jövőt az Intel (**7. ábra**).

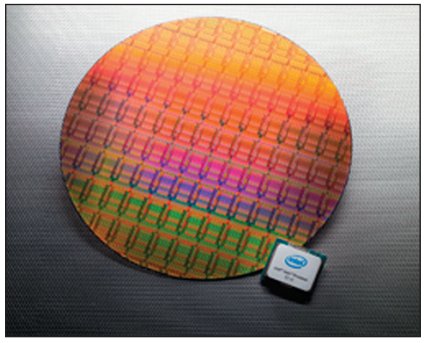
A közbülső fokozatok beiktatása kissé több időt biztosít a fejlesztésre, de a bemutatott tervek még így is a korábbi rendkívül intenzív tempót vetítik előre. Kérdés, hogy a versenytársak felvállalják-e ezt a tempót ezután is? Mindenesetre az Intel továbbra is élni kíván a piaci helyzete, az innovációs lehetőségei és a tekintélye által biztosított előnyökkel, arra törekszik, hogy megmaradjon az éllovas szerepben, nemcsak a forgalmazás, de az innováció és a jövő tervezése területén is!

Vannak azonban árulkodó jelek. Igaz, a megjósolt fizikai határokat, a 100 nm-t, a 20 nm-t, a 10 nm-t a fejlesztőknek sikerült átlépniük. A MIT kutatói azonban kiszámították, hogy a Moore-törvény fenntartásával kapcsolatos kutatási erőfeszítések költségei 1971 óta 18-szoros értékre növekedtek. A legújabb csipeket előállító gyártósorok szinte megfizethetetlenül drágává váltak. A gyárak beruházási költsége évente kb. 12%-kal növekszik, 2022-re elérheti vagy meg is haladhatja a 16 milliárd dollárt! Nem véletlen, hogy a legfejlettebb processzorokat előállító gyártók száma 2002-ben 25 volt, 2010-ben nyolc, ma pedig csak három! Az új megoldások kutatása, fejlesztése hihetetlen mennyiségű mérnökórát igényel. Az Intel úgy képes a fejlesztés időtartamát csökkenteni, hogy igen nagy létszámú munkatársat alkalmaz, 8000 főből álló hardvermérnöki és csip-tervező csapatot. *Jim Keller*, aki 2018 óta a cég szilíciummérnöki vezetője, elsődleges feladatául azt kapta, hogy „kivezesse” a Moore-törvényt. Ő azonban úgy látja, ennek még nincs itt az ideje. Szerinte az Intel 10 év múlva 2 billió ($2 \cdot 10^{12}$) tranzisztorból felépített, a mainál jelentősen gyorsabb processzorokat fog forgalmazni!

A MIT kutatói érdekes felvetést tettek. Eszerint bármilyen óriás is az Intel vállalat, a várható kutatási, fejlesztési költségeket nem tudja maga előteremteni. Mivel pedig a processzorok gyártása mára már társadalmi kérdéssé vált, jelentős állami befektetésekre lesz szükség. Így valószínű, hogy gazdasági térfélen fog eldőlni, teljesül-e a továbbiakban is a Moore-törvény. Ismert egy gazdasági törvényszerűség is, a Rock-törvény. *Arthur Rock* szerint egy-egy új csipgyár megépítésének költsége négyévente megkétszereződik. Sok elemző azt jósolja, hogy ez a sejtés elmaradhat a valóság mögött, a 7 nm-es mérföldkő szerinti gyártás beruházási igénye még ennél is nagyobb!

E sorok írásának időpontja, 2020 májusa elkerülhetetlenné teszi, hogy az egész emberiséget fenyegető COVID-19 járványról szót ne ejtsünk. Az már látszik, hogy a teljes félvezetőgyártóban jelentős visszaesést jelent a járvány, egyrészt a gyártási nehézségek miatt, másrészt a forgalmazás logisztikai rendszerének problémái miatt. Az Intel, fokozott biztonsági intézkedések mellett (**8. ábra**), folyamatosan működteti gyárait a világ minden részén, igaz, kutatói és más munkatársai jelentős része, mint más munkáltatóknál is, otthoni munkára állt át. A vírussal szembeni védekezés, az oltóanyag-kutatás munkálatait jelentős összegekkel támogatta a cég. Intenzív fejlesztéssel segíti a vírus genomjának feltérképezését végzők munkáját, az általuk használt eszközök továbbfejlesztésével (e készülékek kifejlesztésében korábban is közreműködött a cég.) Mindenesetre várható, hogy az Intel 2020-as bevételei a várakozáshoz képest elmaradnak, bár az otthoni munka világméretű általánossá válása következtében a személyi számítógépek, laptopok alaplapjaihoz szükséges processzorok, chip-setek iránt növekvő igény jelentkezik. A termelést viszont nem lehet rövid időn belül felpörgetni, mert már korábban is kapacitáshiánnyal küzdött az Intel. Mindenesetre valószínűleg a meglevő termékek gyártásának fokozására csoportosítja át erőit

8. ábra



9. ábra

a cég, mivel a kutatási-fejlesztési tevékenység a járványhelyzet következtében amúgy is visszafogottabbá vált. Igaz, így gondot jelenthet a tervezett mérföldkő-ütemezés betartása.

A járvány okozta károk enyhítésére és a jelenlegi processzorgyártási rendszer gyengeségeinek leküzdésére a közeljövőben az USA kormányzata az országon belül kíván korszerű csipgyárakat építeni, ehhez a munkához 2020 májusában Trump elnök tárgyalt az Intel, a TSMC és a Samsung vezetőivel. A belföldi gyártás forszírozását indokolja, hogy a távoli gyárak és az anyaország közötti ellátási lánc igen sérülékenynek bizonyult. Egy másik szempont is erősíti ezeket a törekvéseket: a hadiipart is szívesebben látnák el belföldön gyártott csipekkel.

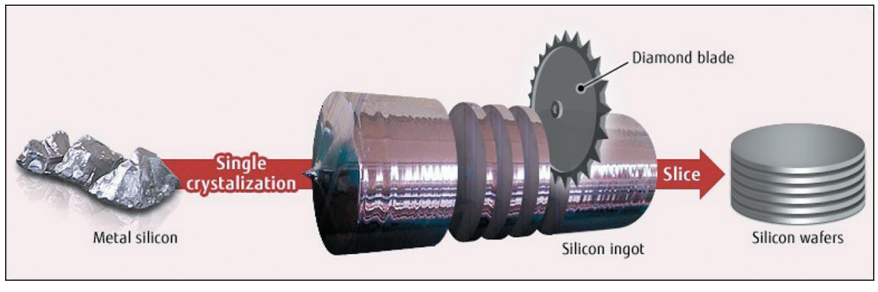
A 2020-ra tervezett irányszámok a járvány miatt jelentősen megváltoztak. Az okostelefonok és az iPhon készülékek forgalmazása, a DRAM-ok eladásai jelentősen visszaestek, egyedül a NAND Flash memóriák piacának bővítését sikerült elérni. A legnagyobbak között egyedül a TSMC tudta a bevételeit növelni, mivel azok nagy részét az 5G fejlesztések és a nagy teljesítményű számítástechnikai eszközök alkotják.

2. A jelenleg gyártható MOSFET-ek

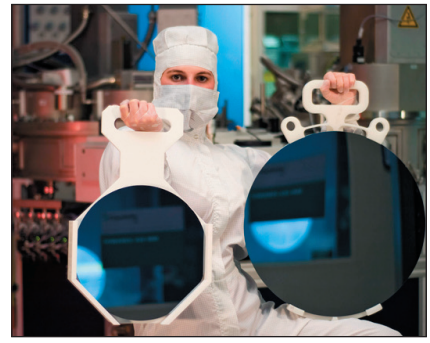
Az előző részben követtük a CMOS csipekben levő MOSFET-ek méretcsökkentését, a scaling folyamatát. A 100 nm tartományig majdnem kizárólag a méretek csökkentéséről szólt ez a folyamat, de azután egyre komolyabb újításokat kellett bevezetni. Ezek közül néhányat az alábbiakban áttekintünk majd. Az egyszerű méretváltozás (tiszta skálázás, pure scaling) helyett sok esetben a tranzisztor szerkezetének, geometriájának átalakítására is szükség volt. Ezek az átalakítások pedig egyéb változtatásokat is megkívántak az alkalmazott anyagokban, a gyártási folyamatokban. Ismerkedjünk meg kicsit részletesebben is ezekkel a változtatásokkal, valamint a gyártási folyamat kritikus lépéseivel, melyek az egyre kisebb tranzisztorok előállításakor különösen nagy gondot jelentettek egy-egy új technológiai fokozat esetében!

Az egyre újabb tranzisztor-szerkezetek kialakítása folyamatos feladat a fejlesztők számára, a kísérleti műhelyekben előállított új tranzisztorstruktúrák leghamarabb 2-3 év múlva jelentkezhetnek a termékekben, a kutatók által vizsgált lehetőségek pedig még később.

Kevés szó esett eddig a félvezető szeletről (Wafer, Slice), arról a vékony, kör alakú félvezető lemezről, amely a csipgyártás alapanyaga. A csipek minden esetben négyszögletesek, mégis kör alakú lemezen hozzák létre őket (**9. ábra**). Ennek az a magyarázata, hogy a különleges tisztaságú félvezető lapokat (jelenleg szinte kizárólag szilícium lemezeket) egy hengeres egykristály felszeletelésével állítják elő, annak alakját pedig a gyártási folyamata határozza meg (**10. ábra**). Így minden IC esetében keletkezik hulladék a kör alakú lemez szélein, ahol már nem fér el a négyszögletes csip. Jelenleg a következő átmérőjű szeleteket használják az IC gyártók: 150 mm (675 um vastagságú), 200 mm (a vastagsága 725 um), 300 mm (ez 775 um-es vastagságú). Mivel a tranzisztorokat a szelet felszíne közelében, alig 10-20 nm vastagságú rétegben alakítják ki, a vastagságukat nem az áramkörök kialakítása határozza meg, hanem a kezelhetőségük és az, hogy kellően merevek legyenek a gyártási folyamatok során, akár hőkezelés közben is.



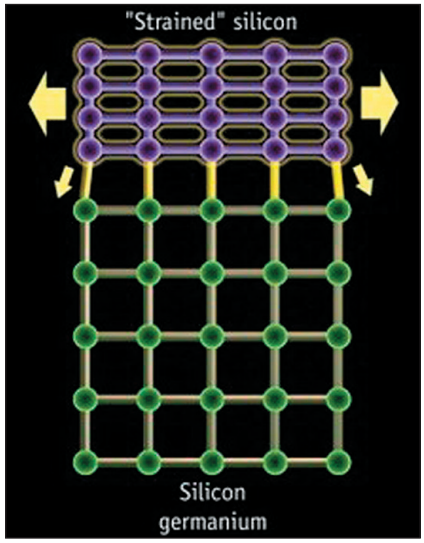
10. ábra



11. ábra

Jelenleg folyik a 450 mm-es szeletek alkalmazásának előkészítése, az Intel szeletgyárában már készültek is mintadarabok (a **11. ábrán** a hölgy a bal kezében tart egy 450 mm-es mintadarabot, a jobb kezében egy 300 mm-es szelet látható). Az új szelet vastagsága 925 um, azaz közel egy mm. A szeletek előállítása ma már önálló iparág, a gyártói a vevő által kívánt adalékolást is elvégzik. A szükséges mértékben, nagy pontossággal és teljesen egyenletesen valósítják meg a bór vagy foszfor atomokkal történő adalékolást, így jönnek létre az n illetve p típusú alaplemezek. A CMOS áramkörök 10 nm-es mérföldkövét követően már csak a 450 mm-es szeleten történő gyártás lenne gazdaságos, viszont éppen ennek a hatalmas wafer-nek az előállítása komoly nehézségeket jelent, ezek tömeggyártására alkalmas gyártósorokat rendkívül nagy költségekkel lehet csak felállítani.

Egy 200 mm-es szeleteket előállító gyár felállításának kb. 1 milliárd dollár a költsége, a 300 mm-es szeleteket kibocsátó gyár már 5 milliárd dollárt igényel. Jelenleg tart ott a csipgyártás, hogy a 300 mm-es lemezeket előállító gyártósorok ára megtérül, és most újabb, még nagyobb beruházási igény jelentkezik. Lényegében a teljes gyártósort le kell cserélni a szeletgyártóknál, a 450 mm-es wafer gyár felállításának, beindításának a becsült költsége 10 milliárd dollár. Ez a költség várhatóan húsz év alatt térül meg. Ugyanakkor a 450 mm-es szeleten kb. kétszer annyi csip fér el (azonos csipméretek esetén), mint a 300 mm-esen, ez az IC-k árában akár 30%-os csökkenést is eredményezhet. A nagyobb szeletek



12. ábra

alkalmazása javít a kihozatal számain is, egyenletesebb gyártott minőséget biztosít és csökkenti a környezeti terhelést.

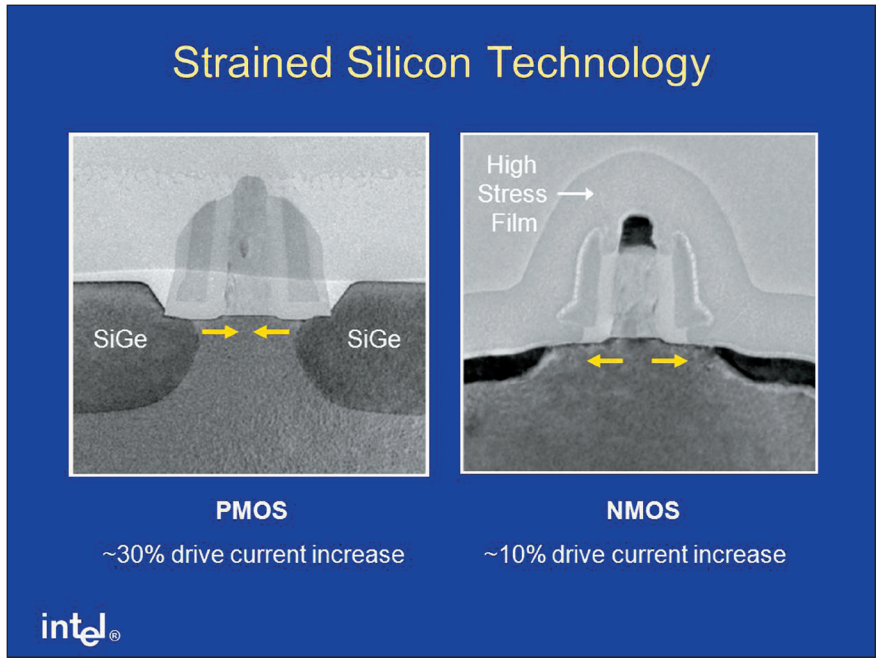
Különleges minőségű csipeket lehet gyártani a szigetelőréteget tartalmazó szeleteken (SOI, Silicon-On-Insulator, szigetelőre-épített-szilícium áramkörök). Ezek felületén vagy annak közelében többnyire SiO_2 szigetelőréteg található, de a legjobb minőséget zafír szigetelővel lehet elérni (az így készülő IC-k az SOS, Silicon-On-Sapphire, zafírra-épített-szilícium áramkörök). Az ezeken kialakított csipek tulajdonképpen egymástól elszigetelt áramköri elemek, tranzisztorok, amelyek így egymásra nem hatnak, de megszűnik az alaplap felé jelentkező áramszivárgás is, csökkennek a káros kapacitások. Feleslegessé válnak azok a gyártási lépések, melyek a szigetelő nélküli szeleteken az egyes tranzisztoroknak a többiektől való elszigetelését célozzák. Az Intel nem alkalmazza processzszorainál ezeket a megoldásokat, de más gyártók már igen. Az SOS áramkörök gyártását elsősorban hadászati és űrkutatási felhasználások esetén igénylik a megrendelők, így a NASA pl. erőteljesen támogatja ezeket a fejlesztéseket.

A 100 nm alatti technológiai mérföldkövek teljesítéséhez a processzszorok gyártói az addig megszokottakon kívül, vagy azok helyett új anyagokat is alkalmaztak termékeiben. A tranzisztorok geometriai átrendeződése mellett ugyanis fontosak voltak a felhasznált anyagok változásai is. Érdekes megfigyelni, hogy több esetben már korábban használt anyagok jelentek meg újra a MOSFET-ek felépítésében. A CMOS áramkörök fejlődésének korai szakaszában nagy jelentőségű lépés volt, hogy a MOSFET-ek gate elektródája anyagaként a kezdetben használt alumíniumot erősen adalékolt polikristályos szilíciummal (poliszilíciummal) váltották fel. Ez tette lehetővé a tranzisztorok gyártásakor a gate önillesztő kialakítását, jelentősen megnövelve a gyártási pontosságot és vele a megbízhatóságot, a tranzisztorok gyártási szórása nagymértékben csökkent. A tranzisztorok küszöbfeszültségét ionimplantációval állították be.

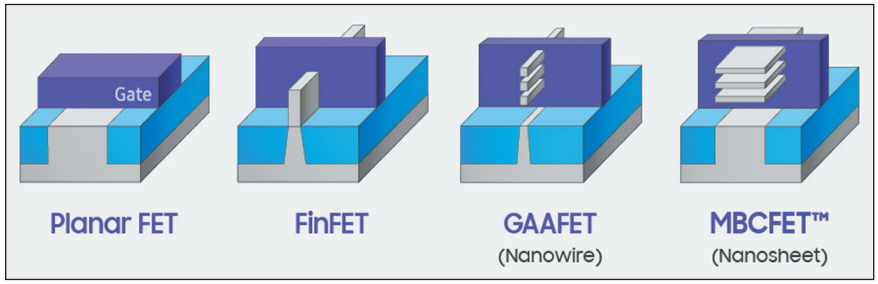
A csökkenő méretek miatt ez a megoldás egyre több gondot jelentett. A poliszilícium gate ohmikus ellenállása már számottevővé vált, a rendkívül kis méretek miatt az ionimplantáció eredménye kellemetlenül nagy szórást mutatott. Vissza kellett tehát térni a fém gate elektródához! Igaz, nem az alumíniumhoz. Ötvözeteket alkalmaznak, s az ötvözési arányokkal lehet a küszöbfeszültséget beállítani, méghozzá igen precízen. A fém elektróda ohmikus ellenállása is kisebb, mint a poliszilíciumé. Az egyik bevált gate anyag a ruténium-tantál ötvözet, aminek a termikus stabilitása is igen jó. A fém gate a tranzisztor vezérelhetőségét, minőségét is javította.

A gate szigetelőrétegét a CMOS integrált áramkörök gyártásának kezdete óta szilícium-dioxid alkotta. A 100 nm-es technológia után azonban a scaling következtében ennek a rétegnek már rendkívül lecsökkent a vastagsága, alig több, mint 1 nm-re. Ez alig 2-3 szilícium atom mérete, a szilícium-dioxid molekula pedig 0,7 nm körüli. Az ilyen vastagságú oxidréteg már alig tekinthető szigetelőnek. Ez a távolság már az alagúthatás miatt sem megfelelő, folyamatosan jelentős tunnel-áramot tesz lehetővé, azaz nagy szivárgási áram lép fel. Ez a MOSFET vezérelhetőségét is erősen rontja, növeli a fogyasztását. A kis szigetelővastagság nagy kapacitásértéket jelent, ami a nagyfrekvenciás viselkedést hátráltatja. A szilíciumdioxid permittivitása, k értéke 3,9. Az új szigetelőanyagoké jelentősen nagyobb (ezek az ún. nagy k-val rendelkező anyagok), a ZrO_2 esetében a k értéke 23, a HfO_2-nél 20. Többnyire a hafniumot alkalmazzák, de sok gyártó titkolózik, csak annyit lehet tudni, hogy nagy k értékű szigetelő anyaggal dolgozik. A nagyobb k érték lehetővé teszi, hogy azonos elektromos tulajdonságok mellett a gate szigetelés vastagságát megnöveljék. Ha vastagabb a szigetelőréteg, elenyészővé válik a szivárgási áram. Igaz, hogy az új anyagok kezelése összetettebb, drágább gyártási eljárásokkal járt együtt.

A nanoméretű tranzisztorok fejlesztését egy érdekes ötlet is segítette, ez pedig a feszített szilíciumréteg volt. A tranzisztorok nagyobb teljesítőképessége elérésének az egyik eszköze a töltéshordozók mobilitásának növelése



13. ábra



14. ábra

lehetett. Ezt a célt szolgálta a feszített szilícium alkalmazása. Az első kísérleti tranzisztorokat, amik a feszített szilícium technológiát (Strained Silicon Technology) alkalmazták, feszített szilícium térfogatban hozták létre. A szilícium szelet felszínén egy vékony SiGe réteget alakítottak ki. Ez úgy készült, hogy az egykristály szerkezetű szilíciumban, a felszíni rétegben Si atomokat kicseréltek Ge atomokkal. A germánium szervesen be tud épülni a szilícium kristályrácsába, ugyanakkor ennek atomjai nagyobb méretűek. A SiGe réteg átlagos atomtávolsága tehát nagyobb, mint a tiszta szilíciumé. Ezután a felszínre 10 nm vastagságban szilíciumot növesztettek. Az új réteg kristályszerkezete alkalmazkodott a SiGe rácsszerkezetéhez, a szilícium atomok a SiGe rácsállandónak megfelelő távolságban helyezkedtek el benne, ez a nyújtott, feszített (strained) szilícium réteg (**12. ábra**). Ennek az lett a következménye, hogy az elektronok mozgásuk közben ritkábban ütköztek akadályba, nagyobb sebességgel tudtak haladni azonos nagyságú villamos tér hatására. Ha ebben a rétegben alakították ki a MOSFET-eket, azok a nagyobb elektronsebességnek köszönhetően gyorsabban működtek. Ugyanakkor a lyukak mozgási sebessége nem nőtt, sőt, a megnövekedett rácsállandó miatt kismértékben csökkent is. A CMOS áramkörökben mindez úgy jelentkezett, hogy az NMOS FET-ek sebessége jelentősen megnőtt, a PMOS-oké inkább csökkent.

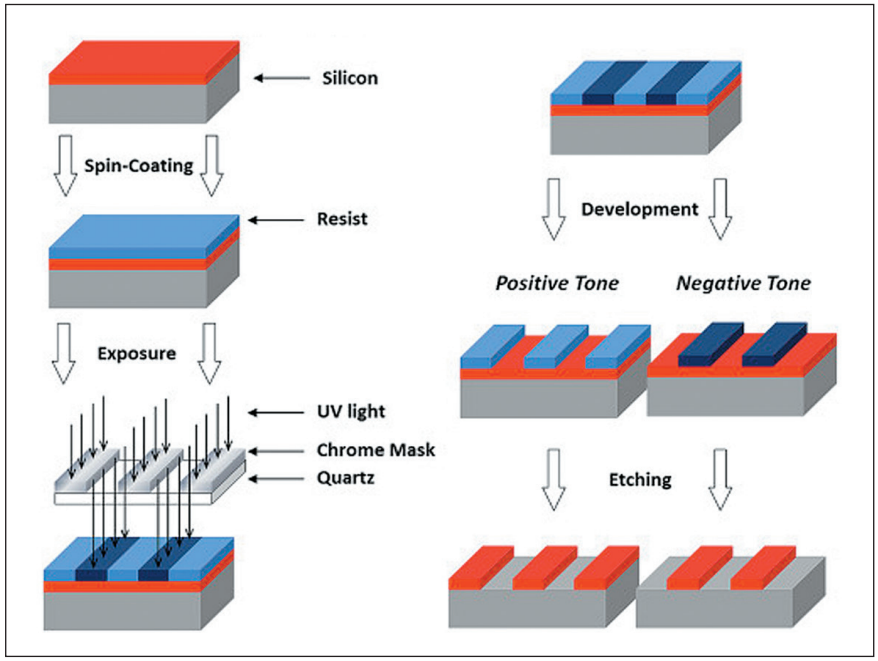
Az Intel és néhány követője finomabb megoldásokat alkalmazott, végül ezek váltak sikeressé. Az NMOS tranzisztorokban a feszített szilíciumot csak a csatorna térfogatában állították elő, mégpedig úgy, hogy a tranzisztor kapott egy SiN „sapkát" (**13. ábrán**, a jobb oldali elektronmikroszkópi felvételen látható). Ez az alatta levő rétegeknél nagyobb kristályállandójú anyag, így keletkezik a tranzisztor belsejében egy feszítő erő, ami a csatorna atomszerkezetét hosszirányban nyújtja. A PMOS tranzisztorok esetében a csatornára ellenkező hatást kellett kiváltani, azaz el kellett érni, hogy összenyomódjék. Ennek érdekében a PMOS-okban a drain és a source térfogat SiGe, ami a környezetére nyomó hatást fejt ki, így a csatorna atomjaira is (a 13. ábrán a bal oldalon látható az elrendezés). Az így készülő áramkörökben a PMOS FET-ekben a lyukak mozgékonysága 30%-kal nőtt, az NMOS tranzisztorokban az elektronoké 10%-kal. Mivel a klasszikus kialakítású MOSFET-ek esetében a PMOS-ban kisebb a töltéshordozók mobilitása, az Intel megoldása lényegében azonossá tette a két tranzisztorban a sebességeket. Ezzel azt is elérték, hogy nem volt már szükség arra, hogy a CMOS tranzisztorpáron belül eltérő legyen az NMOS és a PMOS FET mérete. Különösen fontos eredmény volt, hogy az Intel által alkalmazott megoldás a gyártási folyamatban mindössze 2% feladattöbbletet jelentett.

Az első integrált áramkörök ismertetésekor láttuk, hogy *Kilby* germánium lapkákon alakította ki találmányát 1958-ban. *Noyce* már szilíciumon dolgozott, s azóta a csipek ezt az alapanyagot használják. A feszített szilíciumos megoldások kivitelezésében ismét szerephez jutott a germánium, de egyes fejlesztők ennél komolyabb szerepet is szánnak a korábban mellőzött félvezető anyagnak: germániumból próbálnak CMOS áramköröket létrehozni! Ezzel a témakörel is foglalkozunk majd a jövő megoldásainak tárgyalásánál.

A fő fejlesztési irány azonban egyelőre a szilícium CMOS további zsugorítása. A bemutatott megoldások alkalmazása mellett is elérkezett az a pont, ahol már nem lehetett lineáris méretcsökkentéssel tovább lépni. Ekkor született meg az a zseniális ötlet, hogy a csatornát és az azt fedő gate elektródát a szelet felszíne fölé emeljék, a csipgyártás a 2D korszakából átváltott a 3D korszakba. Megjelentek a FinFET-ek, a 2G és az Intel által kialakított 3G megoldásokkal. A tranzisztorok több Fin-t is kaphattak, s azokra merőlegesen több gate, több csatorna is kialakíthatóvá vált. A továbblépést az jelentette, hogy a csatornát nem három, hanem négy oldalról veszi körül a gate, azaz teljesen körbezárja, ez a 4G vagy GAA megoldás (Gate-All-Around). A **14. ábrán** egymás mellett látható egy planár MOSFET, egy FinFET, egy többcsatornás GAAFET (négyzet keresztmetszetű csatornákkal) és egy többcsatornás MBCFET (Multi-Bridge Channel FET, ebben a csatorna lapos téglalap keresztmetszetű). A GAA és MBC jellegű tranzisztorokat a rendkívül kis méretek miatt nanoméretekben fogják majd gyártani, a későbbiekben ennek lehetőségeivel még foglalkozunk a jövő tranzisztorainak vizsgálatakor.

A csipgyártás során egy rendkívül lényeges technológiai lépés a litográfia, ennek fejlesztése is alapvető az egyre kisebb, hatékonyabb tranzisztorok előállításához. A gyártási folyamat minden lépése meghatározó a végtermék minősége szempontjából. A szelet tisztasága, a kívánt adalékolás egyenletessége nélkül nem működhetnének a tranzisztorok. A litográfia is rendkívül fontos, a minőséget meghatározó lépés. Vannak fejlesztők, akik a mikroelektronika fejlődésének alapját éppen a fototechnika, a fotoreziszt-fejlesztés fejlődése eredményének tartják! Véleményüket igazolja, hogy a 7 nm-es mérföldkő előtti megtorpanás egyik oka éppen az, hogy az annak megfelelő litográfiai technológia (az EUV alkalmazása) még nem alkalmas tömegméretű gyártásra.

A litográfia a csip felületén a kívánt mintázatot tudja kialakítani, a fotolitográfia esetén a kívánt mintázat leképezésére fényt alkalmaz (**15. ábra**). A technológiai lépések a felületen levő anyagok maratásából, ionokkal történő bombázásából (ion implantáció), a felületi réteg oldásából vagy új rétegek felviteléből áll. A litográfiával kialakított mintázat szabja meg, hogy a különféle technológiai hatások a felület melyik részén hassanak, hol ne tudják megváltoztatni a felületet. Hasonló mindez ahhoz, ahogyan a nyáklemezek készítésekor a maratás előtt a nyomtatott áramköri mintázatot a rézfólián megjelenítik, vetíthető mintázat, fotoreziszt és megfelelő fényforrás segítségével.



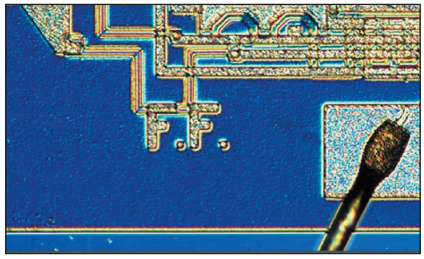
15. ábra

A fotoreziszt a litográfiához felhasznált fény hatására kémiai átalakuláson megy keresztül, pl. a megvilágított területeken kikeményedik, lemoshatatlanná válik (fordított működésű reziszt is készíthető). A maszk eleinte plánparallel üveglemezen, később kvarclapon elkészített mintázat, a felületre felvitt fotorezisztet ezen keresztül világítják meg. A megvilágított és a sötétben maradt területeken eltérő lett a fotoreziszt minősége, és egy azt követő lemosás során a megvilágított illetve a fényt nem kapott területek közül az egyik a felületről eltávolítható (pozitív illetve negatív fotolitográfia). Ezután az eltávolított fotoreziszt helyén lehetségessé vált, hogy a technológiai hatás elérje a csip felszínét, a fedett területek pedig változatlanul maradnak. A mintázat, a maszk a fotoreziszt felületével érintkezhet (kontakt módszer, a távolság ilyen esetben 1 um körüli), vagy a maszk 10-50 um távolságban helyezkedik el a felülettől. A korszerű fotolitográfiás eljárások azt is lehetővé teszik, hogy a maszk csak szoftveresen létezzen, és pontonkénti vetítéssel rajzolódjon át a mintázat a fotoreziszt felületére.

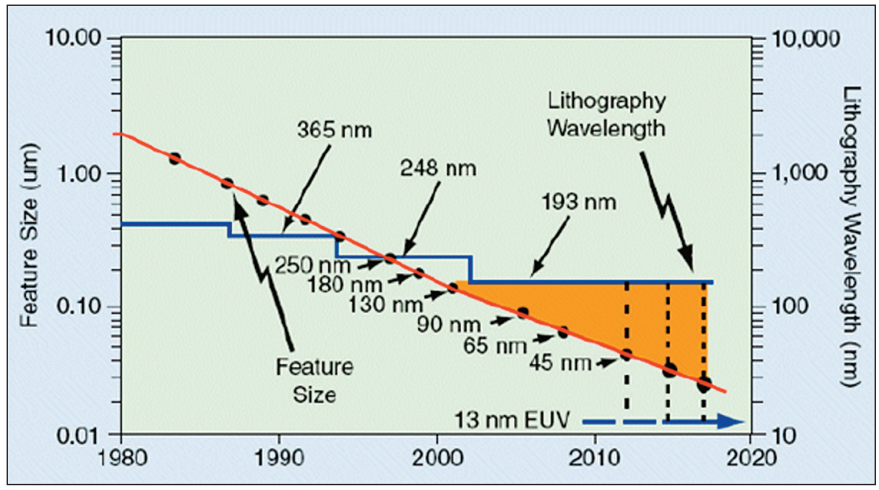
1971-ben az első mikroprocesszorhoz az Intelnél a maszkokat *Federico Faggin* kézzel rajzolta rá üveglapokra, amit fotoeljárással lekicsinyítettek azután. Igazolja ezt a fémező maszkon elhelyezett monogramja is, ami a kész mikroprocesszoron is jól látható (**16. ábra**). A megvilágításra higanygőzlámpát használtak fel, mert ennek ultraibolya sugárzására volt érzékeny az akkor alkalmazott fotoreziszt (mint az amatőrgyakorlatban a Positiv 20).

A litográfia legfontosabb jellemzője a legvékonyabb elkészíthető vonal vastagsága, a felbontás. Ez természetesen egyre kisebb lett, ahogyan a tranzisztorok mérete csökkent. Egy idő után kiderült, hogy az 1971-ben alkalmazott fény már nem megfelelő, mert olyan vékony vonalak szerepelnek a maszkokon, amiket már ezzel a megvilágítással nem lehet élesen kivetíteni (a vékony vonalak szélénél előálló fényelhajlás miatt). A felbontást a megvilágításra alkalmazott fény hullámhossza szabja meg, ezért kezdődött meg a fotolitográfiában használt fényforrások hullámhosszának csökkentése (**17. ábra**). A 365 nm-es UV fényt kibocsátó kripton égőt kriptonfluorid (KrF) lézer követte (248 nm hullámhosszal), majd argonfluorid lézer (itt a hullámhossz 193 nm), végül fluor molekula (F2) lézer (ennek a fénye 157 nm hullámhosszúságú). A 10 nm-es mérföldkő utáni fejlesztések azonban még kisebb hullámhosszat igényeltek. Az EUV (Extreme Ultra-Violet Light, extrém UV fény) alkalmazása azonban nehézségekbe ütközött, a megfelelő levilágító berendezéseket tömeggyártásra alkalmas kivitelben, elfogadható árért sokáig nem sikerült megvalósítani a gyártósorokon.

Amikor a fejlesztés emiatt elakadt, egy (korábban már említett) innovációs ötlet tette lehetővé újabb, kisebb tranzisztorok előállítását, a többszörös mintázás. Előbb a kétszeres, majd a háromszoros, négyszeres mintázást alkalmazták, finomabb rajzolatok elérése céljából. A mintázatot több maszk segítségével alakították ki, melyeket egymás után alkalmaztak a fotoreziszt rétegek megvilágítása során. Az egyes maszkok egymáshoz való illesztése rendkívül kényes feladat, sajnos, emiatt a hibaarány jelentősen megnőtt, a kihozatal romlott, azaz a processzorok ára megemelkedett. A litográfia



16. ábra



17. ábra

további lehetőségeiről a jövő megoldásaival foglalkozó fejezetben olvashatnak még.

3. Az Intel problémái a 10 nm-es és a 7 nm-es mérföldkőre váltáskor

A 3D jellegű tri-gate FinFET-ek biztosították a 14 nm-es technológiai szint teljesítését és a továbbfejlesztést az Intel számára. Az Intel a 10 nm-es gyártástechnológia bevezetésével hosszú éveket késett. Eredetileg 2015-re tervezték ennek a mérföldkőnek a meghódítását, később 2017-re, 2018-ra ígérték, végül az első 10 nm-es processzorok 2019 derekára készültek el. Az eredményhez nagyban hozzájárult, hogy 2018 novemberében a cég pénzügyi igazgatója elérte, hogy a 2018-as évre előirányzott 14 milliárd dolláros fejlesztési keretet egy extra egy milliárd dolláros tétellel megnöveljék. Ezt az emelést nem közvetlenül a 10 nm-es fejlesztésbe pumpálták, hanem a 14 nm-es processzorok gyártásába, így a 10 nm-es technológia előkészítésére nehezedő nyomás enyhült.

Ezek szerint a 14 nm-es technológia szintjén közel öt évet töltött el a cég, azután váltott át 10 nm-re. Mindez a sorban következő 7 nm-es technológia erőteljes csúszását is jelenti. A 14 nm-ről 10 nm-re váltás nagyon sok tapasztalatot eredményezett azonban, amiket figyelembe véve az Intel jelentősen módosította a 7 nm-es technológiával kapcsolatban kitűzött céljait. Az Intel arra is utalt, hogy a 10 nm-es szinten várhatóan a 10+ és a 10++ verziókon kívül egy 10+++ is megjelenik majd, hogy amíg a vásárlók a 7 nm-es áramkörökre várnak, addig is felmutatható legyen az Intel-csipek folyamatos fejlődése.

A 10 nm-es szintről a 7 nm-re váltás szerényebb tranzisztorsűrűség-növekedést fog eredményezni, várhatóan csak 2,4-szerest. Ez is jelentősen magasabb érték, mint az iparágra átlagosan jellemző 1,5-2-szeres növekedés, de jóval alacsonyabb, mint a 14 nm-ről 10-re váltáskor végrehajtott 2,7-szeres növelés. Ugyanakkor a csipek 20%-os teljesítménynövekedést mutatnak majd elődeikhez képest. Igaz, az első 7 nm-es áramkörök nem processzorok lesznek, hanem speciális GPU csipek, melyeket általános feladatok teljesítésére is felkészítenek.

A 10 nm-es technológia még nem követelte meg az EUV litográfiát, a 7 nm-es esetében azonban úgy tűnt, hogy ez már megkerülhetetlen. A halasztásnak ez volt a legfőbb oka. Az Intel által megszellőztetett gyártási titkok között viszont az is szerepel, hogy végül lemondtak az EUV alkalmazásáról egyelőre, az első 7 nm-es áramköröket még a többszörös mintázás segítségével fogják elkészíteni.

Az Intel először 2019-ben mutatott be olyan előrejelzéseket, melyeken a következő technológiai csomópontok sorakoznak, egészen 1,4 nm-ig (a 7. ábrán mutattuk ezt be). Az 1,4 nm-es mérföldkő eddig nem is szerepelt az Intel által publikált tervek között. Látható, hogy egy-egy mérföldkő továbbfejlesztett verziói átfedésbe kerülnek a következő technológiai csomópont megjelenésével, így kisebb időbeli csúszások esetén még képes lesz újdonságokkal ellátni az Intel a piacot. Mindenesetre ez az ütemterv nagyon feszített fejlesztést, agresszív üzletpolitikát jelez a következő évekre. Hacsak megint nem jön közbe egy olyan fejlesztési igény, aminek a kielégítése több éves csúszást eredményez az előrehaladásban. Mindenesetre azt igyekszik garantálni az Intel, hogy az éves fejlesztések, az újabb +-os áramkörök mindenképpen meg fognak valósulni. És a tervek ismertetésekor rendszeresen elhangzik a kijelentés: még egy évtizedig bizonyosan életben marad a Moore-törvény!

Elgondolkodtató, hogy ha a korábban szokásos fejlesztési időintervallumok továbbra is érvényben maradnak, akkor a kutatók laboratóriumaiban már nemcsak az 5 nm-es, hanem a 3 nm-es technológiának megfelelő MOSFET-eknek is működniük kell már, legalább szimuláció szintjén. Csak ez adhat olyan biztosítékot a cég vezetőinek, hogy az ábrán látható fejlesztési terveket vállalni tudják! Ugyanakkor a COVID-19 miatt destabilizálódott fejlesztési tevékenység jelentősen beleszólhat ezekbe a büszke tervekbe!

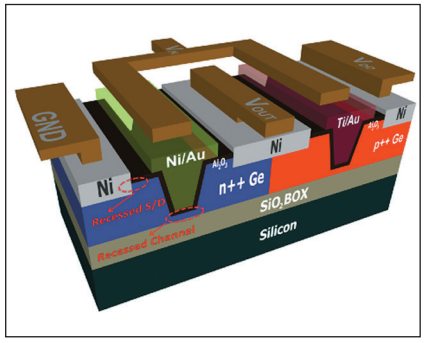
Az Intel felpörgetett innovációját az is befolyásolja, hogy a TSMC és a Samsung nála hamarabb kíván megjelenni 7 nm-es processzorokkal. Ha az első 7 nm-es Intel áramkörök nem processzorok lesznek, az a piacon nagy veszteséget jelenthet. Hiába mutat fel a cég 7 nm-es tranzisztorstruktúrával készülő GPU áramköröket, hiába fog ezekbe általános feladatmegoldó lehetőségeket becsempészni, az alaplapgyártók várhatóan a valódi 7 nm-es processzorokat fogják vásárolni. Ha ez bekövetkezik, az jelentős csapás lehet a nagy cégre.

4. A közeljövő új MOSFET-jei

A továbblépés útjait keresve a kutatók különféle félvezető anyagokat vizsgálnak, keresik a szilíciumcsipek lehetséges utódjait.

Már láttuk, hogy a germánium hasznos segédanyag lehet a szilícium alapú MOSFET skálázása során. A laboratóriumokban azonban komolyabb szerepet is szánnak a germániumnak. A germánium fizikai tulajdonságai lehetővé tennék, hogy kisebbek legyenek a tranzisztorok, mint a szilícium változatok, kedvezőbben alakuljanak a küszöbfeszültségek és a tápfeszültségek, ezekkel együtt a fogyasztás, javuljon a nagyfrekvenciás viselkedés. Ugyanakkor nélkülözni kell a germánium esetében a szilícium több kedvező tulajdonságát, az alacsony termikus ellenállást, a hatékony oxidréteget, a jó fedőképességet maszkoláshoz, a sokoldalú felhasználás lehetőségét (növesztett szilícium, polikristályos szilícium), a viszonylag egyszerű tranzisztorszerkezeteket, csatlakozási lehetőségeket. Végül a germánium alapú CMOS áramkörök minden bizonnyal több különféle anyag egyidejű felhasználását igénylik majd. A kutatók a szilícium és a germánium mellett más anyagokkal is kísérleteznek, így pl. a III-V összetett félvezetőkkel (a római számok a periódusos rendszer oszlopaira utalnak). A CMOS áramkörök egyes részleteinek optimális anyagai eltérőek lehetnek, ezért várhatóan igen összetett struktúrák alakulnak majd ki, amelyekben a különféle anyagok egymás melletti alkalmazása újabb problémákat vet fel. Az IMEC jelenleg olyan CMOS struktúrával folytat kísérleteket, melynél az NMOS részlet InGaAs, míg a PMOS-hoz germániumot alkalmaznak. Az új anyagok alkalmazása jelentős többletköltséggel jár, a várakozások szerint a szilícium CMOS áramkörök előállítási költségeihez képest a SiGe jellegű csipek ára 2-3-szorosra nő majd, a tisztán germánium alapú és a GaAs-re épülő processzorok ára 5-10-szeres is lehet. Germániumból a szeletgyártás sem megoldott, ezért inkább szilícium szeleteken alakítják ki ezeket az áramköröket is, a felületükre növesztett germánium rétegben.

Az egyik biztató eredmény Indiana államból származik. A Purdue



18. ábra

Egyetem (Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA) már korábban is jelentős szerepet játszott a mikroelektronika történetében. Az első tranzisztor megalkotásához a germánium nyersanyagot ők szállították a Bell Labs számára 1947-ben! Most pedig az egyetem kutatói elkészítették egy germánium alapú CMOS áramkör prototípusát (**18. ábra**). A szilícium szeletre növesztett szilícium-dioxid réteg alkotja a CMOS egység alapját, az erre növesztett germánium rétegben jön létre a CMOS áramkör. A CMOS inverter egyik felébe jelentős mennyiségű n, a másikba p típusú adalékanyagot implantáltak. Az erősen adalékolt n++ részletek alkotják az NMOS FET drain és source részletét és a közöttük levő csatornát, a p++ adalékoltságú területek pedig a PMOS alkotórészeit. A csatorna felett az adalékolt germániumba V alakú árkot maratnak, ezt tölti ki a gate anyag, s ennek az árroknak az alsó élénél jön létre a csatorna. A gate ötvözet és a germánium között Al_2O_3 alkotja a gate szigetelőréteget. A gate elektródák ötvözetek, az NMOS esetében Ni-Au, a PMOS-nál Ti-Au. Az elektromos csatlakozó felületeket nikkel fedi, ezekhez tapad a fémező anyag. A bemutatott CMOS inverter működik, a továbbiakban a skálázhatóságot kell megvizsgálni, valamint az elektronikus paramétereket kell javítani.

Azt már egyértelműen bizonyították a kísérletek, hogy a germánium kiváló anyag a p csatornás MOSFET-ek előállítására, a Ge alapú NMOSFET-ek tulajdonságai azonban gyengék. Több gyártó kutatói ezért olyan hetero megoldáson dolgoznak, amelyben szilícium NFET és germánium PFET alkotja a CMOS kapcsolások alapelemét.

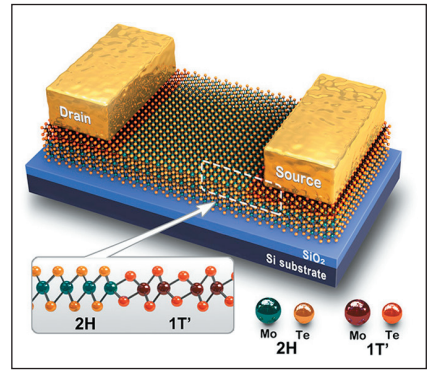
A periódusos rendszer III. és V. csoportjának tagjaiból olyan félvezető ötvözeteket lehet előállítani, amelyeket fel lehet használni a szilícium MOSFET-ek minőségének javítására, de kísérletek folynak a tisztán vegyület-tranzisztorok alkalmazására is. A III. csoport elemei a B, Al, Ga és az In, az V. csoportban az N, P, As, Sb található. A biner (két komponensű), III-V jellegű ötvözetek félvezető eszközök alapjául is szolgálhatnak, de alkalmasak hordozóréteg képzésre is. Utóbbi esetben az ötvözetből kialakított réteg fölé növesztett újabb félvezető átveszi az ötvözet kristályrácsának tulajdonságait, ezt lehet a félvezetőtechnikában is hasznosítani. A terner (háromkomponensű) ötvözetek III-V-V vagy III-III-V jellegűek, ezek az anyagok főleg optoelektronikai alkalmazásokban hasznosíthatóak. A III-V vegyületekben a töltéshordozók mozgékonysága jelentősen nagyobb, mint a szilíciumban, elsősorban ezért foglalkoznak velük a kutatók. Egyelőre azonban ezek az ötvözetek olyan gyártási nehézségeket jelentenek, amelyek miatt késztermékekben még nem találkozunk velük.

Több új vállalkozás azzal a szándékkel alakult, hogy a III-V félvezetők körében megtalálják a szilícium ideális utódját. Ilyen cég pl. a 2007-ben létrejött Efficient Power Conversion, Corp. (EPC, El Segundo, Kalifornia, USA). Először GaN diszkrét tranzisztorok gyártását kezdték meg, majd 2017-ben megkezdődött a logikai áramkörök gyártásához alkalmas GaN technológia kidolgozása. A cég éves forgalma mára elérte a 13 milliárd dollárt, és vezetői úgy vélik, rövidesen a processzorok piacán is megjelenhetnek termékeikkel.

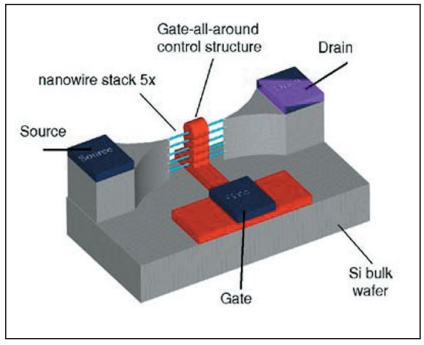
Más ötvözetekkel is folynak kutatások. Az Intel 2009-ben kezdte el az indium-gallium-arzén ötvözettel a kísérleteket. Az InGaA tranzisztorok nagyobb működési sebességet értek el, mint az azonos méretű szilícium tranzisztorok. 2011-ben a kísérletekben már 3D struktúrájú InGaA MOSFET-ek szerepeltek, a kutatók megkezdték a 7 nm-es technológiai szintnek megfelelő geometria megvalósítását is. Az Intel szerint az eredmények kedvezőbbek, mint amiket a szilícium alapú áramkörökkel el lehet érni.

Más anyagokat használ új tranzisztorának kialakítására a Sungkyunkwan University (Suwon, Korea) kutatócsoportja, mely japán kutatókat is bevont ebbe a projektbe. Az általuk vizsgált félvezető anyag a molibdénditellurid ($MoTe_2$). Véleményük szerint ez az anyag helyettesíteni képes a szilíciumot, sőt, lehetővé teszi sokkal vékonyabb tranzisztorok előállítását, mint a hagyományos félvezető anyagok (beleértve a szilíciumot is). A $MoTe_2$ már 1960 óta ismert félvezető, de sokáig nem tudták olyan tiszta formában előállítani, ahogyan azt a félvezetőtechnika megkívánja. Ezt a lépés először a Sungkyunkwan egyetem laboratóriumaiban sikerült megoldani, 2014-ben. Ugyanakkor egy érdekes jelenség is megmutatkozott. A $MoTe_2$ elektromos és spektroszkópiai viselkedése rapszódikusan változott. A kísérletek során lézerfényel világították meg az anyag felszínét, és a kutatók rájöttek, hogy a lézerfény megváltoztatja a kristályszerkezetet, olyan mértékben, hogy az eredetileg félvezető (2H, hatszögletű kristályrendszer) réteg a felszínen fémessé (1T') válik. Az átalakult réteg vékonyabbá is válhat, mint az eredeti vastagsága. A korábbi különböző eredményeket a szerkezeti fázisok keveredése és a különféle rétegvastagságok idézték elő. A lézer teljesítményének pontos kezelésével a folyamatok egyértelművé, irányíthatóvá váltak. Megfelelő lézerteljesítmény esetén szublimációt is el lehetett érni, így az anyag vastagsága is beállíthatóvá vált. Mivel a kísérleteket szilícium alapon kialakított szilícium-dioxid rétegen végezték, a szilícium nagy hőelvonása miatt egyetlen atomréteg vastagságig nem lehetett csökkenteni a $MoTe_2$ vastagságát, de így is vékony anyagréteget lehetett vizsgálni.

A következő lépés az volt, hogy FET-et építettek (**19. ábra**), melynek a csatornáját $MoTe_2$ alkotta. A csatorna végein a felső réteget pontosan beállított lézer besugárzással fémessé tették, így az arany vagy alumínium drain illetve source kivezetőket csatlakoztatni lehetett. A működő prototípus csatornája 2 um hosszúságú, de



19. ábra



20. ábra

a felépítés lehetővé teszi a későbbi méretcsökkentést. Mivel a fémes szerkezetté alakított félvezető és a kivezetés fém anyaga közvetlenül csatlakozhat egymáshoz, ez egy teljesen újszerű lehetőség, ami önmagában sokszorosan nagyobb működési sebességet tesz lehetővé, mint az egyéb szerkezetű tranzisztorok kivezetéseinél alkalmazott szendvicsszerkezetek.

Mivel a $MoTe_2$ félvezető sávszélessége (1 eV) gyakorlatilag megegyezik a szilíciuméval (1,1 eV), ez lehetővé teszi, hogy hasonló elektromos paraméterekkel rendelkező tranzisztorokat lehessen az új anyagból kialakítani, mint korábban szilíciumból. Ez fontos előny akkor, amikor a szilícium logikai áramkörökben kívánják a tranzisztorokat az új megoldásra kicserélni.

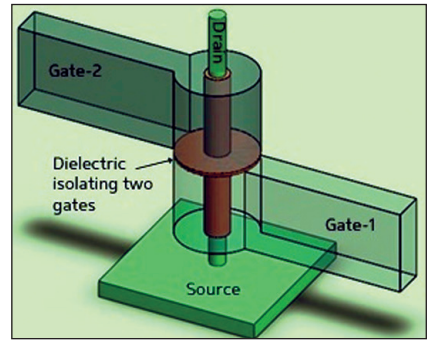
A szilícium tranzisztorok fejlesztésének legfontosabb ösvénye a méretcsökkentés érdekében végrehajtott (annak negatív hatásait ellensúlyozandó) szerkezeti átalakítás, aminek egyik fő eseménye a 2D megoldásokról a 3D-re való áttérés, az Intel által tömeggyártásra alkalmassá tett, s mára már általánossá vált FinFET bevezetése. A kezdeti FinFET hasáb alakú csatornájának két szemközti oldalára került gate, majd ismét az Intel lépett, és három oldalról fedte be a csatornát gate-tel (3G FinFET). Ez a megoldás tette lehetővé a 14 nm-es, a 10 nm-es technológiai mérföldkövek teljesítését és kiszolgálja még a 7 nm-es tranzisztorokat is. Mivel itt a FinFET a mérnökök szerint kifulladt, a következő fejlesztési csomópontok tranzisztoránál már az újabb megoldást kell bevetni, melynél teljesen körbeveszi a gate a csatornát, ez a GAA (Gate-All-Around). Ez tovább javítja a csatorna vezérelhetőségét, a tranzisztor minőségét, ugyanakkor további méretcsökkentési lehetőséget is nyújt. Mivel a csatorna itt már teljesen független az alaptól, a szelettől, természetes, hogy felvetődik annak a lehetősége, hogy ne szilíciumból alakítsák azt ki.

A laboratóriumokban lázas tevékenység folyik, de kevés konkrétum szivárog ki. Mindenesetre több különféle csatornaanyag felhasználása is sejthető a töltéshordozók gyorsabb mozgása érdekében, így a germániumé, a III-V félvezető ötvözeteké. A rendkívül kis méretek miatt a csatorna teljesen újszerű: nanohuzalokat, nanocsöveket alkalmaznak a GAA FET-ekben. A nanohuzal nanoméretű tömör hengeres vezeték, a nanocső belül üres hengerpalást jellegű képződmény. Egy további lehetőség a vékony szalag alakú csatorna alkalmazása az MBCFET-eknél.

A GAA tranzisztorban a csatorna keresztmetszete az eredeti elképzelésekben négyszögletes volt, éppen a nanovezetékek használatával vált kör alakúvá. A legjobb eredményeket érdekében különféle anyagú nanohuzalokkal kísérleteznek. A legújabb modellekben több csatornát is kialakítanak egymás felett. A GAA egyik kellemetlen velejárója, hogy a kis keresztmetszetű csatorna miatt megnő a csatornaellenállás. Ha több csatornát párhuzamosan kapcsolnak, az eredő ellenállás csökken, nőhet a tranzisztor árama, miközben a dinamikus jellemzők nem romlanak! Az egymás felett elhelyezkedő csatornák pedig nem jelentenek többlet helyigényt a csip felületén.

Ma úgy tűnik, hogy leghamarabb az 5 nm-es tranzisztorok készülnek majd ilyen megoldással, legalábbis a Samsung, a TSMC és az Intel tervei szerint, de elemzők azt is lehetségesnek tartják, hogy csak a 3 nm-esek. A nanovezetékes GAA csatornáit magas k együtthatójú szigetelő veszi majd körül, a gate pedig fémvegyület lesz. Várhatóan 3-4-5 nanohuzalt építenek majd be a tranzisztorokba. A **20. ábrán** a Samsung öt nanovezetékes GAA tranzisztorának modelljét lehet látni. A tömeggyártás megvalósításának a legnagyobb problémája éppen a nanohuzalok és az azokat körülvevő gate-elrendezések nagy pontosságú, nagy megbízhatóságú előállításának megoldása, valamint a szilícium alaplemez és a GAA tranzisztorban alkalmazott különleges anyagok kapcsolódásainak megoldása, kis hibaarányú tömeggyártásban.

A Samsung az EUV levilágításban is úttörő szerepet játszik, már a 7 nm-es csipekhez is ezt kívánja alkalmazni.



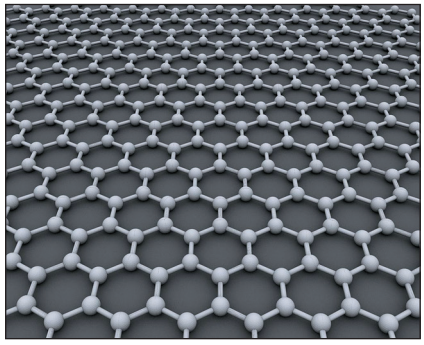
21. ábra

A nanohuzalos GAA tranzisztorokat e nélkül egyáltalán nem lehet kialakítani. Az EUV bevezetésének költségigényére jellemző, hogy a Samsung az általa most rendelt három EUV levilágító berendezést egyenként 218 millió dollárért tudta megvásárolni.

Ugyanakkor eltérő geometriai kialakítású GAA tranzisztorokkal is folynak kísérletek, pl. az IME laboratóriumaiban. Az IME, vagyis az Institute of Microelectronics (Mikroelektronikai Intézet) az Agency for Science, Technology and Research (A*STAR, Tudományos, Technológiai és Kutatási Ügynökség) Science and Engineering Research Council (SERC, Tudományos és Technológiai Kutató Intézet) részlegének 1991-ben alapított kutatófejlesztő egysége Szingapúrban. Xiang Li, a kutatás vezetője 2016-ban ismertette elképzelésüket egy függőleges csatornával kialakított tranzisztorról (**21. ábra**). A demonstrált megoldásban két gate-t alakítottak ki, a teljes elrendezés kb. fele akkora területet igényel a csip felületén, mint az azonos villamos paraméterekkel rendelkező vízszintes csatornás GAA. Li csapata csatornaként szilícium nanovezetéket használt fel. Ha a nanovezetékben n jellegű adalékolást alkalmaznak, az eszközön csak akkor folyik át áram, ha mindkét gate elektródára pozitív feszültséget kapcsolnak, ez tehát egy ÉS kapu. Más kutató csoportok fém nanohuzalokkal kísérleteznek, de InGaAs ötvözetből is készíthető a nanoméretű csatorna.

A rendkívül kis méretű tranzisztorok létrehozásakor a szén újabban sok területen alkalmazott különleges változatai is szerepet kaphatnak. Röviden ismerkedjünk meg ezekkel!

A grafén egyetlen atom vastagságú, hatszögletes elrendezésű rács (**22. ábra**), a szénatomok kétdimenziós hálója. 1962-ben Hanns-Peter Bochm figyelte meg először elektron-



22. ábra

mikroszkópon, ő nevezte el grafénnek (Graphene). Tulajdonképpen egyetlen atom vastagságú grafitrétegről van szó.

2002-2004 között sikerült az első, üzembiztos előállítási megoldásokat kidolgozni az önálló grafénréteg előállítására, addig koromban, grafit hámlasztása közben bukkantak rá grafén darabokra, pelyhekre. Így csak 2004 óta tudnak komoly vizsgálatokat folytatni ezzel a sajátos anyaggal, de 2021-re várhatóan már meghaladja az éves forgalmazása a 150 milliárd dollárt. Minek köszönheti a nagy népszerűségét?

Rendkívül jó hő- és áramvezető, gyakorlatilag átlátszó. A szakítószilárdsága meglepően nagy, ugyanakkor rendkívül kicsi a sűrűsége. Felfedezése után hamar építettek belőle bipoláris tranzisztorokat. Igen nagy mennyiségben alkalmazzák különféle kompozitok előállítására, akkumulátorok hatásfokának javítására, de már a félvezetőtechnika is jelentős mennyiséget dolgoz fel belőle.

Ha egy grafénlapot belül üres csővé csavarnánk össze, újszerű anyaghoz lehet jutni, ez a szén nanocső (Carbon Nano Tube, CNT; **23. ábra**). (A feltételes mód azért szerepel az előző mondatban, mert a gyakorlatban nem így állítják elő a nanocsöveket, a feltekerést szemléletessége miatt szokás a magyarázatokban használni.) Az előállított szén nanocsövek átmérője 0,5…100 nm, a hosszúságuk néhány um-től méteres nagyságendig terjed. Az elméleti számítások szerint a szén nanocső hossza nincs korlátozva, azaz elvileg tetszőlegesen hosszú is lehet. A szén nanocső két alaptípusa a „karosszék” (Armchair) és a „cikkcakk” (Zigzag) felépítésű (**24. ábra**). A cikkcakk jellegű nanocső falán a cső tengelyére merőlegesen ferde kötésvonalak váltakozó sorozatán lehet körbejárni. A karosszék típusban vízszintes és ferde szakaszok váltakoznak, ha körbejárjuk a csövet. Ha a nanocső kissé csavarodott, akkor az eredeti és a tükörképe nem illeszthető egymásra, az ilyen szerkezetet „királisnak” (Chiral) nevezik.

Az eddig megemlített szén nanocsövek egyetlen grafén réteg felcsavarásaként keletkeztek, ezek az egyszeres falú, egyfalú kialakítások (Single Walled Carbon Nano Tube, SWCNT). Ha különböző átmérőjű egyfalú csöveket egymásba tolunk, többfalú nanocsövet lehet létrehozni (Multi Walled Carnon Nano Tube, MWCNT). A csőfalak távolsága nem tetszőleges, hanem a grafitban a grafén-sikok közötti távolságnak felel meg, azaz 0,34 nm.

A szén nanocső szakítószilárdsága és hővezető képessége a grafén adatainál is nagyobb, ezért ezt is alkalmazzák különféle kompozit anyagok összetevőjeként, adalékaként. Az áramvezető képesség a nanocső jellegétől függ, lehet fémes vagy félvezető jellegű.

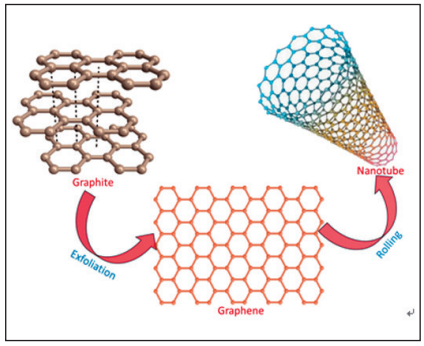
A szén nanocsöveket az első vizsgálatokhoz ívkisüléssel állították elő. A kisüléshez a negatív elektródát grafitból készítették, ennek anyaga az ív magas hőmérsékletén (1700 ºC felett) szublimál, majd eltávolodva az ívtől lehül és rekombináció során különféle allotropokat képez, így grafént és nanocsöveket is. A koromban egy és többfalú nanocsöveket lehet találni, egyesek hossza az 50 um-t is meghaladja. Jobban kézbentartható a lézeres porleválasztásos előállítás, ahol egy grafit céltárgyat nagy energiájú impulzus-lézer sugarával porlasztanak el. A berendezés hűvösebb, esetleg hűtött felületén nanocsöveket alkot a lehülő por. Széntartalmú gázból termikus plazma segítségével lehet nanocsöveket előállítani. A katalitikus gőzfázisú leválasztásos (CVD) megoldás előnye, hogy a nanocsövek méreteit és tulajdonságait a katalizátor anyagával, elhelyezésével befolyásolni lehet. A CVD eljárás arra is alkalmas, hogy egy adott felületre növesszenek szén nanocsöveket.

A szén nanocsövek polimer vagy műgyanta környezetben nagy szilárdságú, beállítható merevségű, szívós kompozitok kialakításra nyújtanak lehetőséget. Napelemekben azt használják ki, hogy a szén nanocsöveknek erős az UV, infravörös és látható fény abszorpciója, a napelem félvezető áramkörébe pedig aktív részletként tudnak bekapcsolódni.

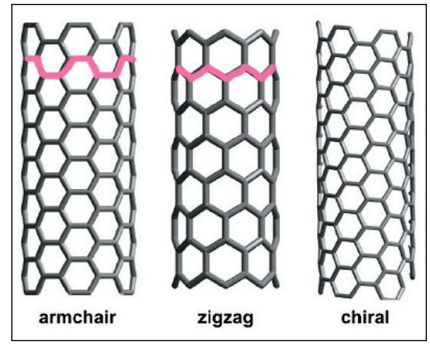
A mikroelektronikában a szén nanocsövek közvetlenül felhasználhatóak. Ha egy szén nanocső két végén ohmikus kontaktust alakítanak ki és a nanocső közbülső szakaszán a csőfal közelében gate elektródát helyeznek el, szén nanocsöves FET állítható elő. A méretek és a nanocső tulajdonságai lehetővé teszik, hogy akár egyesével engedjenek át a nanocsövön, mint csatornán az elektronokat. Általában króm-arany ötvözetet alkalmaznak kivezetésként, ami jó kötést ad a szén nanocsővel (mechanikusan is, elektromosan is). Sok esetben a kivezetéseket előre elhelyezik az áramkör alapján, majd teleszórják hosszú nanocsövekkel a felületet. A megfelelően, a két elektrtódát átfedve elhelyezkedő szén nanocsövek alkotják a FET-eket.

Ezekben az alkalmazásokban problémát jelenthet, hogy az előállított nanocsövek között félvezető és fémes tulajdonságúak is lehetnek, márpedig a fémes jellegűek rövidzárat képeznek a source és a drain között. Ezeket tehát el kell távolítani a felületről.

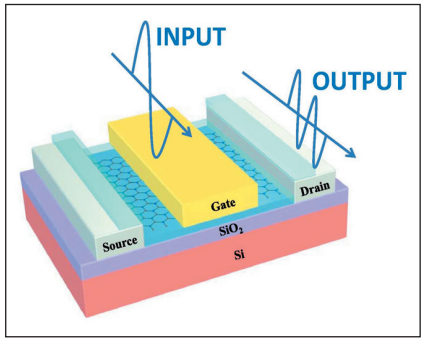
A grafén nagyüzemi előállítási lehetőségeinek elterjedése után sok különféle technikai területen megkezdődtek az alkalmazási kísérletek, így az elektronikai iparban is. A 2014-2016 időszakban több félvezetőgyártó is jelentkezett grafén tranzisztorral.



23. ábra



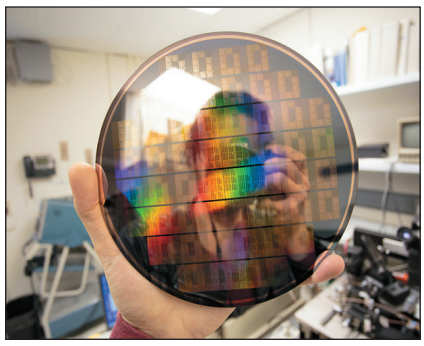
24. ábra



25. ábra

A grafén tranzisztor lehetséges kialakítását a Peking University (Pekingi Egyetem, Peking, Kína) kutatóinak demonstrációs tranzisztorán mutatjuk be (**25. ábra**). A szilícium szelet felszínén levő szilícium-dioxid rétegre építették fel, így ez egy szigetelő alapú eszköz. Az oxidrétegre fektették rá a grafént, ez alkotja a csatornát (más fejlesztők a gate elektródát is grafénból alakítják ki kísérleti eszközeikben). A source és a drain elektródák lényegében kivezető csatlakozók, míg a gate-et a grafén felszínétől szigetetőréteg választja el. Ez a bemutatott eszköz tehát egy grafén FET (GFET), mellyel a fejlesztői egy frekvenciakétszerezőt építettek, így mutatták be a működőképességét és a hatékonyságát. A tranzisztor terahertztartományvban is képes működni, a szintváltások rövid időtartama miatt a fogyasztása a szilíciumtranzisztorokénak töredéke, és a kutatók szerint igen jól skálázható, azaz nagy tranzisztorsűrűségű csipek kialakítására is alkalmas lesz a továbbiakban.

Az IBM már kísérleti csipeket is készített GFET tranzisztorokra építve (**26. ábra**). Megoldásuk kulcsa egy szilícium-grafén réteg, melyet a szilícium szelet oxidált felületén hoznak létre, ezen már igen jól és biztonságosan tapad a grafén atomrács. Mivel a teljes előállítási folyamat hagyományos CMOS gyártási lépésekből áll, az IBM kutatói úgy vélik, jó úton járnak a grafén tranzisztorokból álló csip tömeggyártási lehetőségének kidolgozása felé. A demonstrációs csip egy 4,3 GHz frekvencián működő RF-vevő. Az analóg áramkör számos ellenállást, kondenzátort is tartalmaz. Mivel ezek gyártási lépései a grafént károsíthatnák, először a passzív alkatrészeket alakították ki a szeleten, és csak azután terítették le a tranzisztorok helyén a grafén lemezkéket. Sajnos, a digitális áramköri alkalmazásokhoz szükséges jellemzőket egyelőre az IBM nem tudta ezekkel a tranzisztorokkal elérni, ezért párhuzamosan a szén nanocsöves fejlesztést is nagy energiával folytatták. Eredményeiket rendszeresen publikálják, bár a kereskedelmi forgalomba kerülő termékeket még 2-3 technológiai mérföldkő utáni időkre prognosztizálják csak, 2020 utánra.



26. ábra

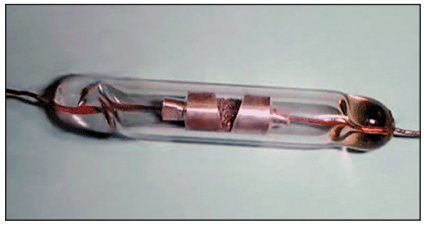
A szén nanocsővel kialakított FET digitális alkalmazási lehetőségét már 2013-ban igazolta a Stanford University (Stanford, Kalifornia, USA), amikor számítógép csipet alkottak ezekkel az elemekkel. A processzor 1 bites volt, 178 tranzisztorból állt és 1 kHz frekvencián működött. Ezek mai szemmel szegényes adatok, de a cél a működőképesség szemléltetése volt. Az IBM jelentései beszámolnak karbon nanocsöves FET-ekkel kialakított processzoráramkörről, de részletesebb adatokat nem ismertetnek. Arra utalnak viszont, hogy a nanocső FET esetében a kis méretekben történő, gazdaságos, tömeggyártásra alkalmas megoldásokat még nem sikerült megtalálni. A rendkívül összetett szerkezet mellett az is gondot okoz, hogy a megfizethetőség érdekében a már használt szilícium szeletekkel és szilíciumcsip gyártására alkalmas gyártósorokkal szeretnék megoldani az új áramkörök előállítását is. Arról is nyilatkoztak az IBM kutatói, hogy ha 2020-2022 időszakában nem sikerül kereskedelmi forgalomban megjelenni ezekkel az áramkörökkel, akkor valószínűleg az egyéb fejlesztési megoldások miatt már nem is lesz életképes ez a technika. Ma úgy tűnik, hogy a 3D megoldások valóban lekörözik ezeket az áramköröket, s a szén nanocső a GAA tranzisztorokban csatornaként jelenik majd meg, a nanovezetékek helyett.

A Berkeley Labs. kutatói és a Kalifornia Egyetem munkatársai közös projektjükben szintén szén nanocsövet alkalmaznak tranzisztorukban, de kü-

27. ábra

lönös módon nem csatornaként. Az 1916 végén bejelentett tranzisztor szigetelt alapú, a szigetelőréteg szilíciumdioxid helyett zirkóniumdioxid. Ezen növesztéssel létrehozzák a source és a drain zónákat, és az oxidréteg felszínétől kb 1,5 nm magasságban kifeszítik közöttük a csatornát, ennek anyaga molibdén-diszulfid. A csatorna alatt, az oxid felszínén egy szén nanocsövet fektetnek végig, ez a gate elektróda. Az 1 nm-es tranzisztorként ismertetett eszköz sokkal kedvezőbb minőségű, mintha szilíciumból készült volna. Ugyanekkora méretek esetén a szilícium tranzisztorok szivárgási árama már elfogadhatatlanul nagy lenne.

Sajátos alkalmazási lehetőséget talált a Nantero, Inc. (Woburn, Massachusetts, USA) cég a szén nanocsövek elektronikai alkalmazására. Mielőtt bemutatjuk ezt, egy kis elektronikai történelmi visszatekintés következik. Menjünk vissza az időben a XIX. század utolsó éveihez, amikor az első vezeték nélküli jelátviteli kísérletek folytak. A jeleket szikraadókkal indították útjukra, vételre kohererre épülő vevők szolgáltak. Az első sikereket *Alekszandr Sztyepanovics Popov* és *Guglielmo Marconi* érték el. A **27. ábrán** Marconi 1896-ban épített egyik rádióvevője látható, pontosabben annak utánépített másolata, amit az Oxfordi Tudománytörténeti Múzeumban lehet megtekinteni. 1896-ban ilyen készülékkel demonstrálta a vezeték nélküli jelátivitel megoldhatóságát Oxfordban a feltaláló. A szikratávíró által keltett elektromágneses hullámokat antenna fogta fel, és egy kohererre vezették a készülékben. A koherer volt a vevő detektora. Egy üvegcsőbe zárt kis szerkezet volt ez, a cső két végén fém



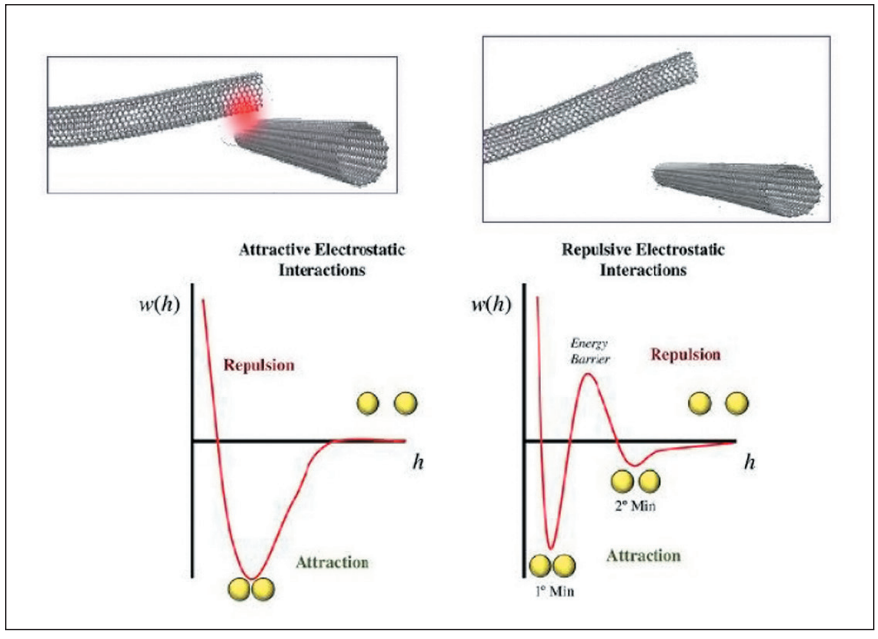
28. ábra

elektródákkal, közöttük finom fémporral (**28. ábra**). Nyugalmi állapotban a koherernek igen nagy az ellenállása, de ha elektromágneses tér hat rá, a fémszemcsék összetapadnak és jó vezetővé válnak a két kivezetés között. Marconi a kohererrel író szerkezetet vagy elektromos csengőt működtetett, így távírójeleket is tudott venni.

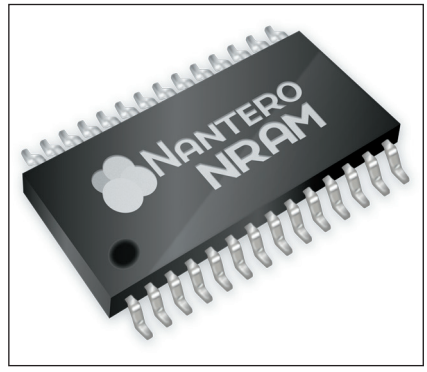
A koherer alkalmazásának egy érdekes kérdése, hogy miként lehet ismét alapállapotba hozni. Popov és Marconi vevőkészülékeiben vételkor egy elektromágneses szerkezet ütögette a koherert, s ez a rázkódás ismét nagy ellenállású állapotba vitte a detektort

A Nantero mikroelekronikai lépésekkel, nanométeres mérettartományban lényegében kohereket állít elő, melyek egy nemillanó, írható-olvasható (NVRAM, a Nantero által használt márkanév szerint NRAM) memória elemi tároló cellái. Az NRAM önálló memória-áramkörként is alkalmazható, de a processzorcsipeken levő SRAM tárolókat is kiválthatja, azzal a többletszolgáltatással, hogy tápfeszültség nélkül is megőrzi a tartalmát. Az NRAM elérheti a DRAM-ok elemsűrűségét, miközben a SRAM áramkörök dinamikájával működik. Egy-egy elemi tárolócella két szemközti falát vezető elektródák alkotják, közéjük nem fémpor kerül, hanem szén nanocsövek. Alapállapotban (ez a törölt, logikai **0** jellegű helyzet) a nanocsövek nagy része nincs a többiekkel kapcsolatban, a vezető kontaktusok között igen nagy értékű ellenállás mérhető. Elektromos impulzus hatására a szén nanocsövek is összetapadnak, mint a kohererben a fémszemcsék, az ellenállás nagyságrendekkel csökken (ez a beírt, logikai **1** állapot). A matematikai modellek alapján úgy látszik, hogy a beírt állapotot 300 évig biztosan megőrzi a cella, akár 500 ºC hőmérsékleten is. A kutatók ennél optimistábbak, szerintük az adattárolási idő 1000 évnél is hosszabb. A tartalom átírási lehetőségeinek száma pedig korlátlan. Hőmérsékletváltozásokra nem érzékeny az új áramkör.

Felvetődik a kérdés, hogyan lehet a cellákba beírt **1**-ket később kitörölni, hiszen a mechanikus szétrázogatás itt nem jöhet szóba. Az összetapadást elektrosztatikus erő valósítja meg, a későbbi szétválasztást ellenkező előjelű elektrosztatikus tér képes megvalósítani. A **29. ábrán** bal oldalon látható az az impulzus, ami előidézi a nanocsövek összetapadását (a cellába beíródik a logikai **1** érték). A jobb oldalon látható többszörös, előjelet is váltó jel alkalmas arra, hogy az összetapadt nanocsöveket ismét szétválassza, így az eredeti állapot helyreáll (a cella kitörlődik, logikai **0** lesz a tartalma). A beírásra illetve törlésre használt impulzusok feszültségszintjénél jelentősen alacsonyabb feszültségű kiolvasó jellel lehet a memória tartalmát olvasni, a tartalom sérülése nélkül.



29. ábra



30. ábra

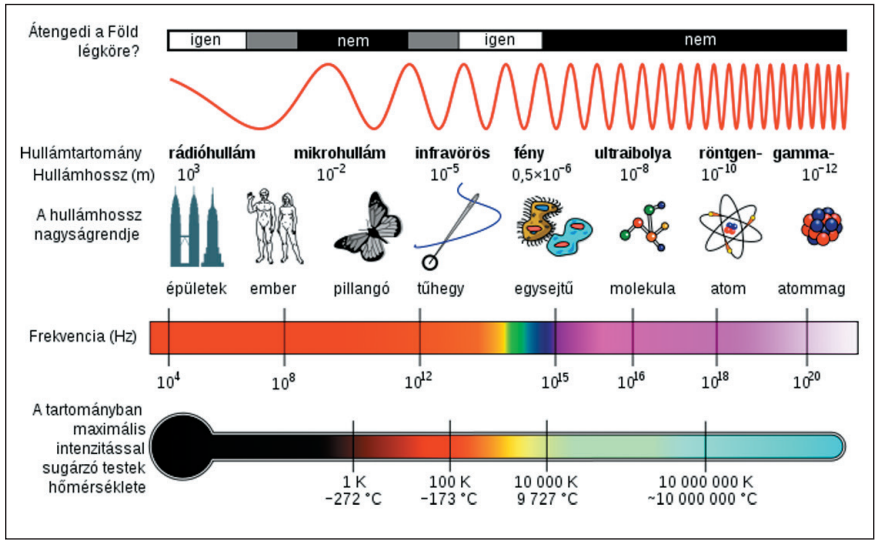
Az NRAM egy-egy cellájában sok ezer szén nanocsővel fedik le a két elektróda közötti területet, ezek a gyártási folyamat végén véletlenszerűen helyezkednek el, minimális kapcsolat van közöttük. Ezt követően egy záróréteg kerül a cellára, ami lefedi a nanocsöveket is, az elektródákat is. A bezárt szén nanocsövek ezután a beíró és a törlő impulzusokkal kezelhetők.

A Nantero egyelőre önálló NRAM IC-k előállítását készítette elő, a gyártással a Fujitsu céget bízta meg. 2021-re a Nantero új áramköreit a Fujitsu már forgalmazza majd (**30. ábra**). Ugyanakkor a Nantero kutatói úgy látják, hogy a kialakított megoldásuk az 5 nm-es processzorcsipeken is tökéletesen használható lesz, de mivel jól skálázható, így a későbbi technológiai szinteken is működtethető. A jelenlegi megoldás még meglehetősen robusztus, gondoljunk arra, hogy más esetekben a kapcsolóelemet, tranzisztort egyetlen szén nanocsővel alakítják ki!

5. Különleges megoldások, akár a CMOS korszak utáni áramkörökhöz

A következőkben röviden bemutatjuk a már látható ötleteket, megoldásokat a processzorok még hatékonyabb változatainak jövőbeli előállítására. Ezeket a leírásokat inkább figyelemfelkeltésnek szánjuk, akit egy-egy lehetőség érdekel, az interneten kutakodva további részletekkel is megismerkedhet.

A processzorok fejlesztésével foglalkozó elemzők jelenleg úgy tartják, hogy a germánium és a III-V ötvözött félvezetők 2020-2025 között megoldhatják a tervezők problémáit,



31. ábra

ezután jelennek meg a piacon a szén nanocsöves GAA áramkörök, 2025-2030 között. Természetesen a laboratóriumokban már a távolabbi jövő számára is keresik a technológiai lehetőségeket.

Bármilyen anyagokat használnak is a jövőben, bármilyen szerkezete, geometriája lesz is az egyre kisebb tranzisztoroknak a processzorcsipekben, a gyártásukhoz mindenképpen szükség lesz az egyre nagyobb felbontású *litográfiai megoldásokra*. Mint már láttuk, a 7 nm-es, 5 nm-es szilícium áramköröknél bizonyosan be kell vezetni az EUV megoldást, ami 13 nm-es hullámhosszával egy ideig megoldja a leképezés problémáit. Az EUV egy szélesebb hullámhossz-tartomány alsó részén helyezkedik el, ez az XUV sáv. Az XUV az 1…50 nm-es UV-fénytartományt foglalja magába, ezen belül még az EUV-nél rövidebb hullámhossz-értékek is megtalálhatóak, rendelkezésre állnak. Az XUV legnagyobb frekvenciás része már a röntgensugárzás tartományával határos a spektrumban (**31. ábra**). A közeljövőben ezért valószínűleg az 1…13 nm-es hullámhosszúságú UV-fények felé fordul az érdeklődés, ezt alkalmazó levilágító rendszereket igyekeznek majd kifejleszteni. A maszkokat leképező berendezések mellett azonban nem szabad elfeledkezni arról sem, hogy az egyre csökkenő hullámhosszaknak megfelelő fotoreziszt anyagokat is létre kell hozni.

A litográfiában alkalmazott levilágító sugárzás tehát a kezdetektől máig, és a közeljövőben is UV-fény. Ennek egy sajátos következménye, mivel a gyártás egymást követő litográfiai lépések sorozata, a gyártósorokon a termékek UV-érzékenysége miatt kizárólag a látható sárga fényt használják a termek megvilágítására, amit nátrium lámpákkal állítanak elő. A **32. ábrán** TSMC gyártósorok láthatóak, a sárga fényben. A következőkben néhány további lehetőséget említünk meg.

Röntgensugár-litográfia

A röntgenreziszttel bevont felületet maszkon keresztül világítják meg, röntgensugár-nyalábbal. A maszk néhány mikron vastagságú fémfólia (alacsony rendszámú fémből), azon a minta 0,5 um vastag, nagy rendszámú anyagból (arany, platina) készül. A teljes maszkot szilícium, szilícium-nitrid vagy szilícium-karbid hordozólapra rögzítik, ez a hordozó teszi lehetővé a maszk pontos illesztését optikai eljárással. A maszkot a félvezető szelet felülete felett kb. 40 um távolságban kell elhelyezni. Ha a röntgensugár hullámhossza 0,4 nm, ezzel 0,5 nm körüli vonalvastagságot lehet megvalósítani.

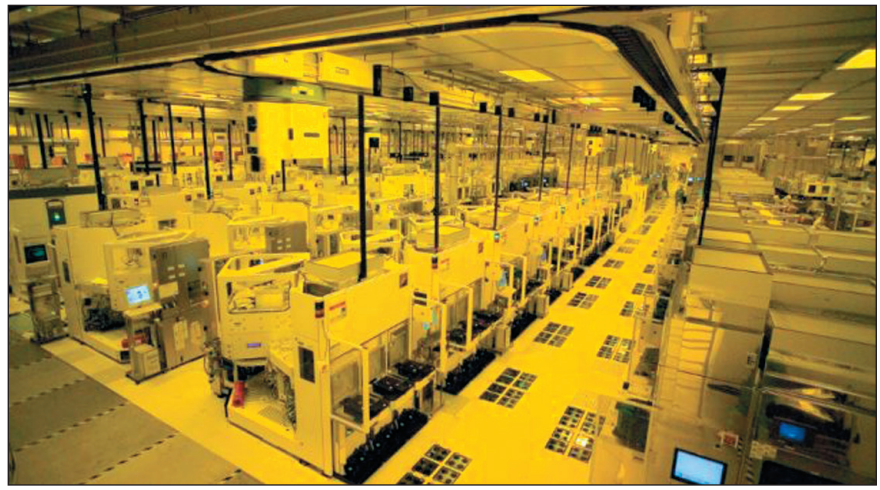
Maszk nélküli litográfia, elektronlitográfia

Az elektronlitográfia egy elektronmikroszkóphoz hasonló készülékkel történik, melyben az elektronsugarat a mintázatnak megfelelő programmal mozgatják, nincsenek tehát előnyomott rajzolatok, maszkok. A fókuszált elektronsugarat elektromágnesekkel mozgatják, így járják be a célfelületet. Ezt az eljárást egy ideje már alkalmazzák az UV és EUV fotolitográfia alkalmazásakor, a maszkok készítésére. A gyártósorokon is megjelent diszkrét és integrált mikrohullámú áramkörök előállításánál. Nagy felbontású, de költséges technológia. Mivel az elektronsugarat vákuumban lehet csak alkalmazni, az elektronlitográfia különleges berendezést igényel.

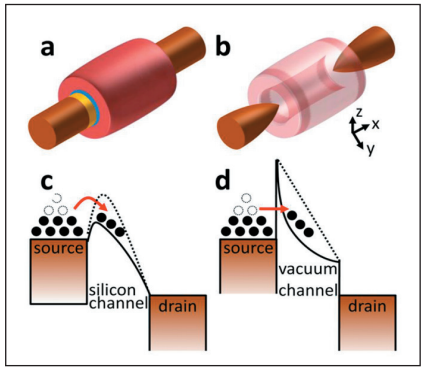
Ionlitográfia

Az ionlitográfia az elektronlitográfiához hasonló megoldás: fókuszált ionsugarat mozgatnak elektromágnesek segítségével. Előnye, hogy az ionsugárzásra a rezisztek érzékenyebbek, akár egy-két nagyságrend is lehet a különbség. A készülékkel az ionok behatolási mélysége is szabályozható, ezért ugyanaz a berendezés ionlitográfiához és ionimplantációhoz is használható, ami költségmegtakarítást eredményezhet.

Már láttunk példát arra, hogy a mikroelektronikában korábban alkalma-



32. ábra



33. ábra

zott anyagok, megoldások újra megjelennek a nanotechnológiák szintjén is. A vákuumcsövek szelleme is visszaköszön napjainkban, a *vákuumcsatornás FET-ek* formájában. Amikor a monitorokban és a tévévevőkben a képcsövek helyett megjelentek a síkképernyős megoldások, tulajdonképpen eltűntek az elektroncsövek az alkalmazott alkatrészek világából (a csöves hangerősítők szerelmeseinek munkái kivételek, amik inkább csak erősítik ezt a tendenciát). Pedig a vákuumban az elektronok közel ezerszer gyorsabban képesek haladni, mint szilárd anyagokban, így tulajdonképpen kedvezőbb közeget jelentenek áramvezetés céljából. A gondolat nem új: a Delfti Műszaki Egyetemen (Hollandia) már a '90-es évek végén kísérleteztek az akkori csiptechnológia keretein belül megvalósítható, mikroméretű hidegkatódos triódával. Erről egy rövid hír keretében a [3]-ban számoltunk be.

A tranzisztor feltalálását az a nemzetközi méretű lázas kutatási tevékenység tette lehetővé, melyet az elektroncsövek szilárdtest-megfelelőinek keresése motivált. Az utóbbi időben pedig mintha egy ellentétes irányú fejlesztési törekvésnek lehetnénk tanúi. Több félvezető-laboratóriumban is kísérleteznek az elektroncsövek mikroméretű, félvezetős megfelelőivel. A NASA Ames Kutatóközpontja (Mountain View, Kalifornia, USA) bemutatta koreai kutatókkal közösen fejlesztett vákuumcsatornás tranzisztorát, melyben nanovezeték vagy nanocső helyett légüres tér alkotja a csatornát (a **33. ábrán** egy nanoszálas GAA tranzisztor mellett látható, a két megoldás energiadiagramjával együtt). A nanoméretű vákuumcsatornás tranzisztor (Nanoscale Vacuum Channel Transistir, NVCT) megépített prototípusa 150 nm hosszú, a csatorna ebben 50 nm-es, és ami nagyon fontos, a tranzisztor szokásos félvezető-gyártási lépésekkel készült el. A source elektróda különleges, hegyes kiképzésű, a villamos tér növelése érdekében. A kis méret következtében 10 V alatti feszültséggel már működőképes. A NASA szakértői biztosak abban, hogy a működési feszültséget akár 1 V alá is le lehet csökkenteni, s akkor ez a megoldás a „hagyományos" GAA tranzisztorok komoly vetélytársa lehet! Terveik szerint a nagysebességű kommunikációban, hadászati és űreszközökben nagy jelentőségű lehet ez a megoldás. A kísérleti példányokat radioaktív sugárzásnak és magas hőmérsékletnek kitéve azt tapasztalták, hogy 200 ºC-on is stabil a működésük, és erőteljes protonsugárzás vagy gammasugárzás sem befolyásolja a tranzisztorokat. Az elektronok megnövekvő mozgékonysága miatt THz-es alkalmazásokhoz is használhatónak tartják a vákuumcsatornás eszközüket.

Bár a kutatók is vákuumcsatornásként említik tranzisztorukat, a valóságban nincs a csatornában légüres tér. Inert gázokat alkalmaznak, légköri nyomáson a tranzisztorok belsejében. Mivel a csatorna hossza nagyon kicsi, kevés a valószínűsége annak, hogy egy elektron gázmolekulával ütközzön, a kvázi-vákuum tehát jól megközelíti a valódi légüres teret.

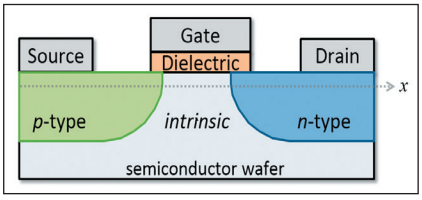
A fejlesztők egy nehézségről is beszámolnak. Ahogyan az elektroncsövek katódja, úgy a vákuumcsatornás tranzisztor source elektródája is idővel fogy, kopik, ami rontja a tranzisztor minőségét. Egyelőre tehát a hosszú idejű stabilitás hiánya miatt nem alkalmasak tömegtermelésre, ezt a gondot mielőbb meg kell oldani.

A kvantumfizika, *kvantumelektronika* már több évtizedes múltra tekint vissza, jelenségeinek gyakorlati alkalmazása azonban igen nagy feladat a fejlesztők számára. A szilíciumtranzisztorok fejlesztése során az egyre kisebb méretek miatt mind inkább észlelhető kvantummechanikai jelenségek tervezési problémaként jelentkeznek. Ugyanakkor a kvantumelektronika lehet a jövő rendkívül kis méretű tranzisztorai kifejlesztésének az egyik kulcsa. Ezért igen nagy várakozással tekintenek a szakemberek a kvantumjelenségek elektronikai hasznosítása elé. A közvélemény is érdeklődéssel fogadja az egyetlen atomból álló, vagy egyetlen elektronnal működő tranzisztorokat, kapcsolóeszközöket, melyek a kvantumvilág lehetőségeit kiaknázva igazán kis méretű eszközöket jelentenének!

A Purdue Egyetem két ausztrál egyetemmel közösen (New South Wales University, Sydney és Melbourne University, Melbourne) 2012-ben jelentette be az első, egyetlen atomból álló tranzisztort. Egyetlen atomnyi szélességű „vezetéken" továbbított elektronokkal kísérleteztek, 2010-ben így hét atomból álló tranzisztorról adtak hírt. Ezután tovább kívánták csökkenteni a méreteket, ennek érdekében pásztázó alagútmikroszkóp segítségével szilíciumkristályban foszforatommal helyettesítettek szilíciumatomot. Az egyetlen foszforatomot sikerült tranzisztor-jellegű viselkedésre bírni 2012-ben, ami a kutatók számára bizonyosságot jelent arra, hogy ezekben a méretekben is megoldható lesz a tranzisztorok előállítása. Mindenesetre a demonstráció közben a szilíciumtömböt mínusz 196 ºC hőmérsékleten kellett tartani, hogy a foszforatom elektronjainak hőmozgása ne zavarja meg a tranzisztor működését.

A Karlsruhe Műszaki Intézet (Karlsruhe, Németország) 2018-ban jelentkezett egyatomos tranzisztorral. Gél elektrolitban helyeztek el két fémelektródát, amelyek között kis rést hoztak létre. Az elektródák egy fématomnyi keresztmetszetűek. Elektromos impulzus hatására a gélből egy ezüstatom az elektródák közé lép, azokat rövidre zárva. A kutatók elektromos úton megoldották az ezüstatom eltávolítását is. Ily módon kapcsolóüzemű tranzisztorként működik az elrendezés. A német kutatók ismertetője szerint tranzisztoruk egyik különlegessége, hogy nem szükséges lehűteni, szobahőmérsékleten is működőképes. A felhasznált gélt vizes ezüst elektrolit szilícium-dioxiddal történő gélesítésével állították elő.

A kvantumelektronika azonban még kisebb méretekben is hasznosítható. Ma a processzorcsipek tranzisztorai elektronok hatalmas tömegeivel dolgoznak, az EPROM, EEPROM, Flash memóriákban egyetlen bitet több millió elektron jelenít meg, a DRAM-okban több ezer. A kvantumelektronika viszont lehetővé teszi, hogy elektromos jelekkel akár egyetlen elektron viselkedését, mozgását irányítsuk, így egyetlen elektronnal működő tranzisztorokat is képezhetünk. A kvantumelektronika ismeri az egyetlen elektron befogadására, majd kibocsátására alkalmas rendkívül kis méretű eszközt,



34. ábra

a kvantumpötty (Quantum Dot) néven ismert csapdát. Ha az elektronok áramlásának útjába ilyet helyezünk, a belépési és a kilépési oldalon alkalmazott feszültségértékekkel lehet elérni, hogy egyenként lépjenek be illetve ki az elektronok. Ugyanakkor egy ilyen eszköz nem helyettesítheti a mai processzorcsipek tranzisztorait, egyrészt mert csak igen alacsony hőmérsékleten működőképes, másrészt a kvantumvilágban érvényes bizonytalansági jellemzők ellensúlyozására csak kis sebességgel lehet ezeket működtetni. Nem kell azért lemondani az alkalmazásukról, csak nem a hagyományos CMOS csipek felfrissítésére kell bevetnünk a kvantum dotokat, hanem teljesen új struktúrájú kvantumszámítógépeket kell belőlük létrehozni.

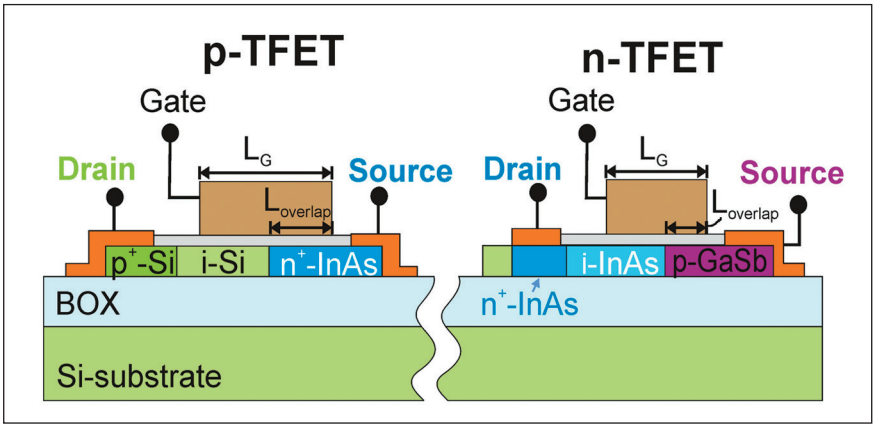
Az elektronika minden eszköze jelenleg az elektron által képviselt negatív töltés mozgatásán, áthelyezésén alapul. Ugyanakkor az elektronnak van egy saját tulajdonsága, a spinje, ami önmagában is alkalmas lehet logikai **0** vagy **1** érték megjelenítésére, mivel két lehetséges forgási iránya van. Az elektronspinre épülő technikai terület ma már önálló tudomány: spintronikának nevezik (Spintronics). A spin kezelésére épülő spintronikai áramkörök sokkal kevesebb energiát igényelnének a működésükhöz, mint a mai félvezető tranzisztorok. Az elv egyértelmű, de nanoméretű eszközökben a spin átállításának, majd kiolvasásának megoldása egyelőre várat magára.

Valamivel nagyobb méretekben már sikeres tranzisztorstruktúrákat állítottak elő, a kvantummechanika lehetőségeinek kihasználásával. Az alagúthatást hasznosító kapcsolóelem, a *Tunnel FET* (TFET) már több csipgyártó laboratóriumában működik, felépítése a hagyományos planár FET-ekéhez hasonló (**34. ábra**). A legfontosabb újdonság az, hogy a TFET csatornatérfogatát adalékolás nélküli (intrinsic, pure, undoped, i-type) félvezető alkotja. Egy másik lényeges sajátosság az, hogy a TFET-ben a source és a drain ellentétes adalékoltságú félvezető térfogatból áll. A félvezetőszerkezetre utalva a TFET egy másik szokásos elnevezése a PIN (P-Intrinsic-N) FET.

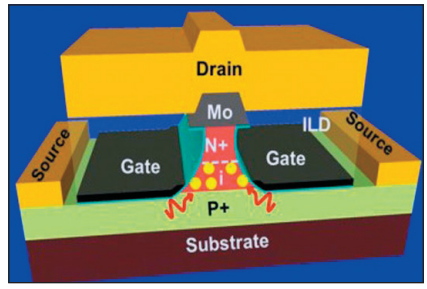
A TFET mérete már az első kísérleti megoldásokban is rendkívül kicsi, hiszen éppen azt hasznosítja, hogy a source és a drain közötti nanométereres távolság következtében a közöttük levő szigetelőn vagy adalékolatlan félvezetőn keresztül az elektronok alagutazással át tudnak haladni. Ezt a hatást a gate által létrehozott elektromos tér fel tudja erősíteni, így vezérelhető az elektronáramlás. A demonstrációs kísérletekben a csatorna anyagaként általában InAs szerepel. A TFET tranzisztorban tehát a hagyományos tranzisztorokkal szemben a source és a drain között nem diffúziós töltésáramlás jön létre, hanem egy feszültséggáton keresztül megvalósuló alagutazás. Sajátosságuk, hogy a meredekségük a szilícium FET-ekénél nagyságrendekkel nagyobb, ami az áramkörök átlagfogyasztásának jelentős csökkenését jelenti.

Az IBM, ez a TFET fejlesztésben is élenjáró cég, már 2004-ben beszámolt egy sikeres kísérletről. Újabb eredményük, hogy planár Tunnel FET-eket állítottak elő, mégpedig CMOS kapcsolások építésére alkalmas módon, P és N típusúakat (**35. ábra**). A P jellegű TFET InAs-Si félvezetőkre alapul, az N típusú InAs-GaSb ötvözetekre. A vázlaton megfigyelhető a heterostruktúrájú tranzisztorok felépítése; láthatóan bonyolultabbak, mint a hagyományos szilícium tranzisztorok. A szilícium szelet felszínén kialakított szilícium-dioxid mélyedésekben, dobozokban (BOX) építhetőek fel. Az első demonstrációhoz külön szeleten készítették el a PFET és külön az NFET változatokat, de dolgoznak a valódi, egymás melletti P és N típusokból felépíthető CMOS integrált áramkörök létrehozásán is. Az IBM kutatói úgy vélik, hogy jól skálázható architektúrát dolgoztak ki, így az ezekből a tranzisztorokból kialakított csipek követhetik a szilícium CMOS áramköröket.

2011-ben jelentkezett egy sajátos kialakítású NFET-tel a Pennsylvaniai Állami Egyetem (Pennsylvania State University azaz Penn State vagy PSU, Philadelphia, Pennsylvania, USA). A függőleges heteroátmenetes Tunnel-FET szerkezeti vázlata a **36. ábrán** tekinthető meg. A kivezetések Au/Pd, a drain térfogat N adalékolású InGaAs ötvözet. A drain és a kivezetése között molibdén összekötő réteget láthatunk. Az intrinsic félvezető részletet az alap felé P adalékoltságú GaAsSb ötvözet fogadja, ez a source térfogat. A csatlakozás itt is Au/Pd ötvözet. A source viszonylag nagy felületű, ezen helyezkedik el magas k értékű szigetelőrétegen a platinából kiképzett gate. A tranzisztor árama hasonló, mint a jelenlegi CMOS áramkörök tranzisztoraié, ugyanakkor már 300 mV-os feszültséggel is működőképes. A „függőlegesen alagutazó" tranzisztor áramát, működési sebességét, küszöbfeszültségét nagymértékben befolyásolja a source és a drain térfogatban alkalmazott félvezető anyag, a kutatás jórészt ezen



35. ábra



36. ábra

37. ábra

anyagok keresésére irányult. Jelenleg a PSU kutatói azon dolgoznak, hogy megállapítsák tranzisztoruk skálázhatóságát, az ipari tömeggyártásra való alkalmasságát. Az egyetem tevékenységét szelet- és processzorgyártók is támogatják, többek között az Intel.

A TFET-ek fejlesztése azért vonzó a kutatók számára, mert hagyományos mikroelektronikai gyártási lépésekkel kialakíthatóak, a már kidolgozott geometriai elrendezésekben is megépíthetők. Mivel FinFET és GAA kivitelű TFET is létrehozható, ezekkel is foglalkoznak a laboratóriumokban.

A felhasználók ma már több szempontot mérlegelnek, ha processzort választanak, mint korábban. Jól példázza ezt egy régi történet és egy mai új fejlesztési irány.

Hosszú várakozás után jelent meg az Intel a Pentium processzorral 1993-ban (**37. ábra**). Az előző, 486-os processzorhoz képes közel kétszeres teljesítőképességű csip a legnagyobbak, a RISC-gyártók közé emelte a céget. Mint az Intel első szuperskalár processzora egyben az első 64 bites adatbusszal épített áramköre is volt, ami az adatkezelés sebességét növelte meg jelentősen. Az első Pentium 5 V-ról működött, meglehetősen nagy volt a fogyasztása, viszont 60, később 100 MHz-es órajelével meg is szolgálta a felhasznált villamos energiát.

A processzort 1992 közepén tervezték piacra vinni, de az utolsó teszteken tapasztalt hibák javítása miatt erre csak 1993-ban került sor. Amint később kiderült, így is maradt hiba az áramkörben. A hibát *Thomas Nicely* amerikai matematikus vette észre, a prímszámok kutatásával kapcsolatos számítások végzése közben, 1994. június 13-án. A hiba felfedezése után szívós munkával megkereste a pontos okát is, kimutatva, hogy a Pentium nagy számok osztása esetén, lebegőpontos számításokban esetenként hibás eredményt szolgáltat. Tapasztalatait 1994 október 24-én jelezte az Intelnek. A cég ekkor már ismerte a hibát, amit belső tesztelésen 1994 májusában ismertek fel a Purdue Egyetemen. A lebegőpontos osztás (Floating-Point Divide) szavak alapján FDIV néven ismertté vált hiba kisebb pánikot keltett a világban. Az Intel később leírta, hogy csiptervezési hiba következtében a lebegőpontos osztást támogató és gyorsító hardverhez tartozó 1066 rekeszes táblázatban öt rekesz tévedésből 0-t tartalmazott a helyes +2 érték helyett.

Az Intel először a felhasználók józan eszére kívánt hatni, kimutatva, hogy ha egy Pentiummal dolgozó számítógép folyamatosan nagy számértékekkel tudományos számításokat végez, akkor is csak 27 ezer évente jelentkezik az FDIV hiba. Sőt, akkor sem igazán hiba lép fel, inkább számítási pontatlanság, ami hétköznapi felhasználáskor nem is észrevehető. A hiba nagyságára utal a felismerésére javasolt osztási művelet helyes és hibás eredményének összevetése.

A helyes eredmény az osztás elvégzésekor:

$$\frac{4.195.835}{3.145.727}=1{,}333820449136241002$$

A hibás processzorok által adott hányados pedig:

$$\frac{4.195.835}{3.145.727}=1{,}333739068902037589$$

Látható, hogy a hányadosban a negyedik tizedestől kezdve jelennek meg hibás számjegyek. És mindez 27 ezer évente egyszer…

Az Intel számítása azonban nem jött be, a felhasználók (jórészt a médiában gerjesztett hisztéria alapján) csak annyit érzékeltek, hogy az Intel hibás processzort sózott rájuk. 1994 november 7-én az Electronics Engineering Times terjedelmes cikkben részletezte a Pentiumok hibás működését, tévéműsorokban is foglalkoztak vele. Nemzetközi felháborodást keltettek a hírek, és már viccek születtek az Intelről, a Pentiumról, kifigurázva a hibás processzorokat és gyártójukat. Ekkor már látta az Intel vezérkara, hogy nagy a baj. Irodákat állítottak fel, ahol a hibás Pentiumokat ingyenesen hibátlan példányokra cserélték. A csereakció több mint 450 millió dollárjába került a cégnek, viszont megmentette a becsületét.

A begyűjtött Pentium csipek jó része kulcstartóvá vált (**38. ábra**), amelyen az átlátszó műgyanta réteg alatt bárki megcsodálhatja a csipet. A másik oldalon (**39. ábra**) *Andrew Stephen Grove*, a magyar származású mérnök, eredeti nevén *Gróf András István*, aki az Intel egyik alapítója, az FDIV hiba kezelésekor pedig a cég elnök-vezérigazgatója, így üzent munkatársainak és a világnak: „A rossz cégeket megsemmisíti egy krízis, a jó cégek túlélik, a legkiválóbbak viszont felemelkednek általa!” A biztatás (és a csereprogram) bevált, nem rendült meg az Intel iránti bizalom, s ez jelentősen hozzájárult ahhoz az úthoz, amit a cégnek azóta sikerült bejárnia.

A szerző szerint jobb sorsra is érdemesek lettek volna a begyűjtött hibás Pentiumok. Lehetett volna olyan alaplapgyártó, aki kisebb követelményeket kielégítő, egyszerűbb (és így jóval olcsóbb) gépeket építhetett volna a felhasználásukkal, pl. kezdő számítógép-felhasználók számára, vagy olyan

38. ábra

39. ábra

felhasználóknak, akiknek csak azért kell a gép, hogy az interneten e-mail üzeneteket küldjenek és fogadjanak.

A mai processzorcsipek gyártási megoldásai nem biztosítják, hogy az egymás mellé kerülő több milliárd tranzisztor teljesen azonos méretekkel, ennek megfelelően azonos elektronikai paraméterekkel rendelkezzen. A szlíciumszeleten készülő áramköri egységekben 10…15 nm-es méretbeli eltérések is jelentkezhetnek maszkillesztési, ionimplantálási és egyéb technológiai lépések során. Ekkora eltérések 100 nm-es tranzisztorok esetében nem okoztak jelentős problémát, de 50 nm alatt már akár működésképtelenséghez vezethetnek. A korszerű gyártástechnológiák kialakításánál ezért külön figyelmet fordítanak arra, hogy a csipben kialakított tranzisztorok között csökkentsék a méretbeli szórást, ezzel a hibás működés lehetőségét. Ez természetesen jelentős többletköltséget jelent, valamint a fejlesztésre szánt idő növekedését.

A fejlesztéssel foglalkozó cégeknél sok kutató világosan látja, hogy a legújabb processzorok működési sebessége, számítási pontossága nem minden felhasználó számára szükséges. Felvetődött egy lehetséges fejlesztési irány, amelyben a könnyebben kivitelezhető, kevésbé pontos, lassúbb, de jelentősen olcsóbb processzorokat állítanának elő. Példaként utalhatunk Rice Egyetem (Rice University, Huston, Texas, USA) fejlesztésére, melynek során kis fogyasztású, kisebb sebességű processzorokkal foglalkoznak, melyek hibázhatnak működésük közben, de olcsón előállíthatóak. A *hibázó processzorok* egyszerűbb alkalmazásokban kitűnően megállnák a helyüket!

A kutatók azt vizsgálták, hogy az információátadás közben az emberi agy milyen mértékű hibázást képes tolerálni. Ha ugyanis az agyunk nem érzékeli a hibát, akkor felesleges a teljes hibátlanságra törekedni, rendkívül költséges megoldásokkal! Svájci és szingapúri kutatókkal közösen vizsgálták, hogy képek, videok megfigyelésekor milyen hibaarányok mellett veszi észre a szemlélő a pontatlanságokat. Megállapították, hogy az emberi agy meglepően nagy mennyiségű hiba, pontatlanság esetén is az eredeti élményt képes érzékelni, mintegy kitöltve a hibák miatti űröket!

A CMOS áramköröknél a hibázási lehetőség a tápfeszültség csökkenése esetén megnövekszik. Ha alacsony a tápfeszültség, akkor a logikai **1** (**H** szint) kevésbé emelkedik ki a zajból, gyakrabban fordul elő, hogy egyes tranzisztorok tévednek a logikai érték megállapításakor. Az ilyen hibázó CMOS áramkörök eddig megengedhetetlennek számítottak a processzorgyártásban. Most, az új alkalmazási területet figyelembe véve, ahol nem nagy pontosságú számításokat kell végezni, hanem pl. média feldolgozásokat, ez az áramköri viselkedés megengedhető, sőt, akár célszerű is lehet. A mai processzorok CMOS tranzisztoraitól elvárják, hogy 100%-osan el tudják különíteni a logikai **0**-kat az **1**-ektől. Ugyanakkor a Rice kutatásai bebizonyították, hogy ha az elkülönítés 90% pontosságú, akkor a CMOS tápfeszültségét egy nagyságrenddel kisebbre lehet választani, lecsökken a fogyasztás értéke is. Ez a minőségi romlás hanganyagoknál, képeknél alig észrevehető, azaz normál alkalmazásoknál megengedhető! A kísérleteket úgy végezték, hogy a képek, filmek, hanganyagok fájljaiban a helyes értékek egyre nagyobb részét helyettesítették hibás értékekkel.

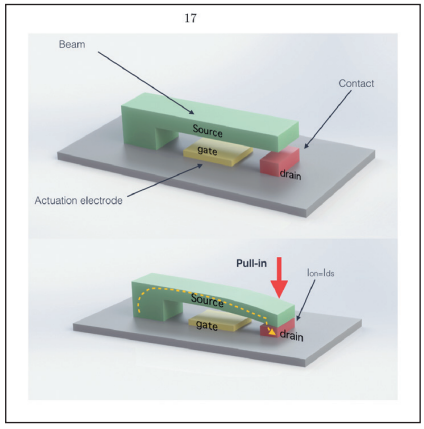
A kutatók elsősorban szimulációs programokkal vizsgálódnak, de építettek hibázó processzort is. Különleges szoftver rendszert alkalmaztak a vizsgálatokhoz, ami a feldolgozás kisebb-nagyobb hibái esetén a lejátszást nem tette lehetetlenné, csak a végeredményben jelentkeztek a hibák (a kép lett elmosódottabb, a hanganyagban jelentkeztek a hibás magasságú, minőségű hangzatok). Úgy találták, hogy a valóságos, bár hibás működéskor nagyobb hibaarányt visel el a felhasználó, mint amit a szimuláció alapján gondolni lehetett. Lehetséges, hogy ez a fejlesztési irány lesz a CMOS egyik túlélési lehetősége.

Az elektronikai megoldások után egy olyan lehetőséget mutatunk be záró példaként, amely ismét egy régi eszköz korszerű újragondolásaként jelent meg. A MEMS (Micro-Electromechanical System, mikroelektromechanikai rendszer) és a NEMS (Nano-Electromechanical System, nanoelektromechanikai rendszer) fejlesztések lehetővé tették a félvezetőlap felületén a mozgó alkatrészek kialakítását. Mivel a mozgó, elhajló, rugózó elemek hibamentes félvezetőből alakulnak ki, nem tartalmaznak kristályhibákat, ezért nagyon hosszú életűek, nem törnek el, nem fáradnak ki. Mindez lehetővé teszi, hogy rendkívül kis méretű elektromechanikus jelfogókat alakítsanak ki a csipekben. A hajdani jelfogók terjedelmes eszközök voltak, jelentős energiaigénnyel és lassú működéssel. Születésük *Joseph Henry* nevéhez köthető, aki 1835-ben építette meg az első elektromechanikai jelfogót. Érdekes egybeesés, hogy ekkor dolgozott a gőz energiáját hasznosító, fogaskerekes szerkezetű számítógépén *Charles Babbage*. A mechanikai számolóeszközöket hamarosan felváltották a jelfogós számítógépek, amiket azután az elektroncsövesek követték. Azóta a jelfogót nem alkalmazzák összetett struktúrájú informatikai rendszerek hardverének megvalósítására. A MEMS és NEMS technika viszont lehetővé teszi a jelfogó hátrányainak kiküszöbölését mikroszkópikus méretű *nanojelfogók* létrehozásával.

Hazánkban az első programozható, elektromos működésű (de nem elektronikus) számítógépet *Kozma László* professzor építette a BME számára 1957-58 folyamán. A gép a MESZ1, azaz a Műszaki Egyetem első számítógépe az 1960-as évek közepéig működött, akkor is csak az erkölcsi avulása miatt tették félre. Kozma professzor a jelfogós berendezések elkötelezett híve volt, az elektroncsöves számítógépeket megbízhatatlannak tartotta. Most bizonyára elégedetten mosolyogva figyelné ezeket az új fejlesztéseket!

2001-ben az Arizónai Egyetem (Tucson, Arizona, USA) kutatói publikálták eredményüket: félvezető alapon létrehoztak egy parányi jelfogót! Ez lényegében a hagyományos jelfogó kicsinyített változata volt, vasnikkel ötvözetből készült kengyelét egy apró tekercsbe bevezetett áram húzta le, így zárva rövidre a kivezető kontaktusokat. A következő években sok félvezető laboratóriumban keresték a hatékonyabb megoldásokat, eredményes kísérletek folytak hőtágulásra alapuló és piezoelektromos megoldásokkal. Ezek azonban nem voltak alkalmasak arra, hogy tömegtermelésben, félvezetőgyártási lépésekkel megvalósíthatók legyenek. A kutatók ekkor fordultak az *elektrosztatikus működtetés* felé.

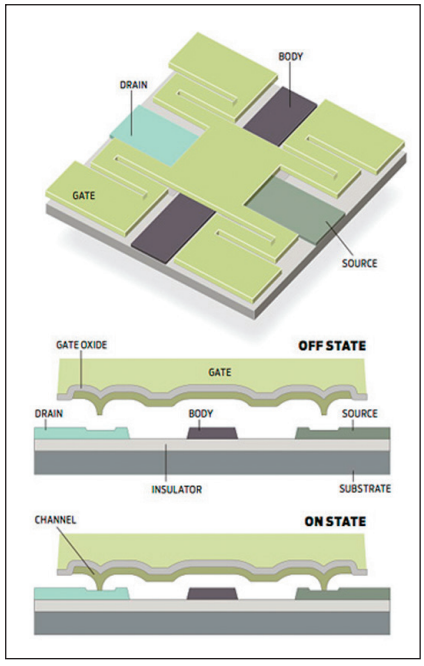
Az elektrosztatikus működtetésű jelfogóra egy igen egyszerű megoldás vázlata látható a **40. ábrán**. A mozgó elem egy rugalmas anyagú konzol (mozgó rugó), melynek egyik vége az egyik csatlakozóhoz rögzített, míg a másik vége alaphelyzetben egy további érintkező felett, de ahhoz hozzá nem



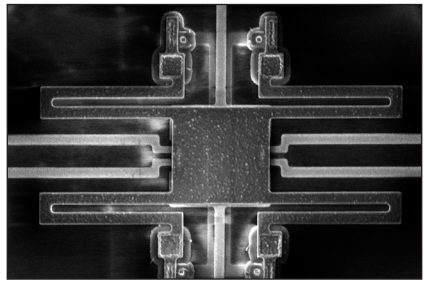
40. ábra

érve helyezkedik el. A kisméretű jelfogót (nanorelé, nanorelay) a FET-ek helyett kívánják a jövőben alkalmazni, ennek megfelelően az érintkezőket is a FET csatlakozásainak megfelelően nevezik el. A mozgórugót fixen tartó csatlakozó a source, a másik csatlakozó a drain. A rugó alatt helyezkedik el a vezérlő felület, a gate. A rugóra és a geta-re kapcsolt feszültség előjelétől függ, hogy a vezérlő elektróda vonzza vagy taszítja-e a mozgó rugót. Vonzás esetén az érintkező záródik, a source és a gate között áramvezető rövidzár jön létre.

Ennek az elrendezésnek a kapcsolások építésekor az a problémája, hogy a vezérlő jel és a vezérelt nem független egymástól. Leegyszerűsíti a tervezést, ha a nanojelfogó mozgórésze egy tőle elszigetelt összekötő elemet moz-



41. ábra



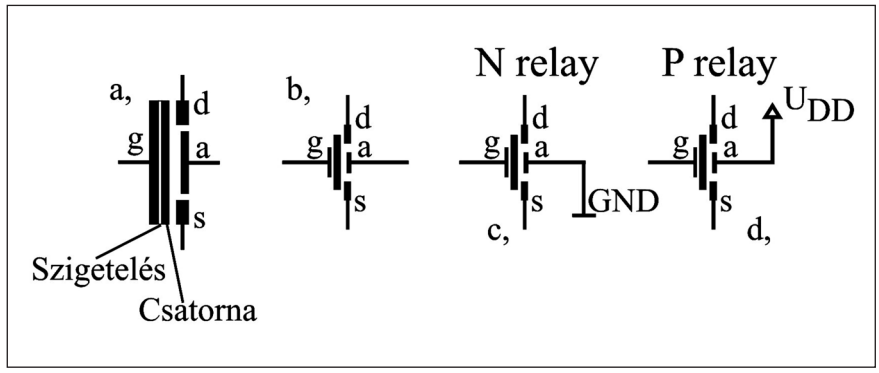
42. ábra

gat, ami két, a szerkezettől elektromosan elszigetelt kivezető csatlakozót tud összekötni. Ezen az úton indultak el a Kaliforniai Egyetem kutatói (CU, Berkeley, Kalifornia, USA), amikor megalkották nanoreléiket.

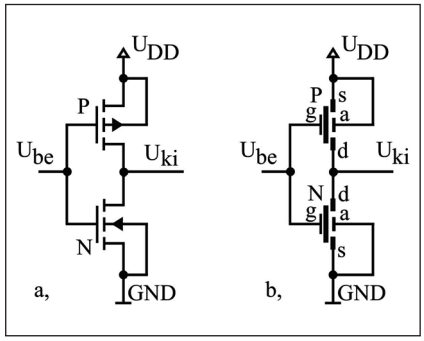
Úgy vélték, ha a nanorelék pillanatnyilag sebességben nem is versenyezhetnek a processzorok tranzisztoraival, lekörözhetik azokat fogyasztás tekintetében. Statikus állapotban egyáltatalán nem fogyasztanak, az átkapcsolásukhoz minimális energiára van csak szükség A **41. ábrán** látható a CU laboratóriumaiban alkalmazott működési elv. Nyitott állapotban (Off State) a drain és a source csatlakozók között nincs galvanikus kapcsolat, rugalmas szerkezeti elemek tartják a mozgórészt ebben a helyzetében. Ha a gatere és a testre (Body) vezetett feszültségértékek hatására a mozgó elem és az alap között vonzóerő keletkezik, a mozgórész a rugóerőt legyőzve, a test felé mozogva zárja az áramkört, a source és a drain között kialakul a rövidzár (On State). A mozgórész source és drain felé eső oldalán ugyanis egy vezető réteget helyeztek el (csatorna, Channel). Ez a kialakítás már teljes függetlenséget biztosít a vezérelt és a vezérlő áramkörök között (erről mikroszkopikus felvétel látható a **42. ábrán**). A nanorelé úgyszólván ideális kapcsoló: kikapcsolt helyzetben nincs szivárgási árama, bekapcsolt állapotban a félvezetős FET-ek csatornaellenállásánál sokkal kisebb átvezetési ellenállást mutat. Ugyanakkor a kísérletek során a nanorelé működési sebességét összemérhetőnek találták a mai csipek tranzisztorainak kapcsolási sebességével, sőt a továbbfejlesztés is lehetséges, mert a megoldások csökkenő méretekkel is várhatóan biztonságosan működnek majd. További előny, hogy a MEMS, NEMS kivitelű eszköz nem érzékeny elektromágneses zavarokra és sugárzásokra.

A **43. ábrán** a CU fejlesztésű nanorelé egyszerűsített felépítése látható az **a** részleten. A **b** részlet a rajzjelét mutatja be. Az eredeti angol szövegben az alap-elektróda Body elnevezéssel szerepel, ezt önhatalmúlag az „alap” szóval helyettesíti a továbbiakban a szerző, nehogy a bipoláris tranzisztorok vezérlő elektródájára, a basic-re asszociáljon valaki a Body rövídített megjelölésekor (b). Erre az elektródára általában vagy a *GND*, vagy a tápfeszültség kerül, ennek megfelelően a jelfogó működtetésére az első esetben tápfeszültség, a másodikban 0 V szükséges a gate elektródán. Az előző megoldás esetén N típusú nanoreléről beszélünk, az utóbbiban P típusúról. Fontos látni, hogy a jelfogók felépítésében, szerkezetében nincs eltérés, teljesen azonosak, az határozza meg a jellegüket, hogy az alap-elektródát hova kötik egy kapcsolásban. A relé szimmetrikus felépítése miatt a source és a drain csatlakozások is egyenértékűek, felcserélhetőek. Mindenesetre egy CMOS elektronikai kapcsolást közvetlenül át lehet alakítani nanorelésre, ha az NMOS FET-eket N relével, a PMOS-okat P típusúval helyettesítik.

A nanorelékkel építhető áramkörök sajátos lehetőségeit néhány példával



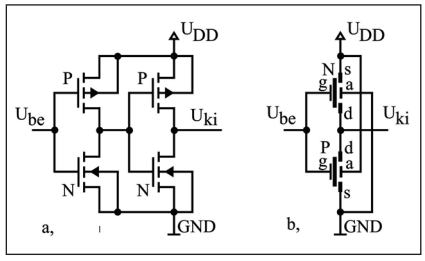
43. ábra



44. ábra.

szemléltetjük. Látjuk majd, hogy a CMOS kapcsolások egyszerű átrajzolásán kívül sok egyéb lehetőség is rejlik a nanoméretű jelfogókban. A **44. ábrán** látható a közismert CMOS inverter (**a**), mellette (**b**) a nanojelfogós megfelelője. A CU kutatói hamar felismerték, hogy a jelfogók használatakor sok áramköri egyszerűsítésre is mód van, nem szükséges a CMOS kapcsolásokat teljes hűséggel követni. A **45. ábra a** részletén egy CMOS jelismétlő, puffer kapcsolása látható, amit négy MOSFET alkot. Ezt a **b** ábrán látható módon két nanorelével lehet helyettesíteni.

Utolsó példaként egy összetettebb működésű kapuáramkört mutatunk be. A **46. ábrán** mindössze két nanorelé szerepel, de az eddigieknél összetettebb szerkezetűek. A jelfogók mozgórésze nem egy, hanem két összekötő hidat mozgat, így két pár érintkezőt tud egyszerre zárni vagy bontani. Az érintkezőpároknak elektromosan összekapcsolt, közös alapfelületük van. Ezeket a jelfogókat a CU kutatók kettős source/drain jellegűeknek (Dual Source/Drain) nevezték el. A kapcsolás másik újdonsága, hogy az alapra nem *GND* vagy tápfeszültség kerül, hanem az egyik bemenőjel ponált (*Be*2) és negált (*Be*2) értéke. Ebből következően itt nem is beszélhetünk P vagy N típusú jelfogókról. Ezeket a lehetőségeket kihasználva a két nanorelé a XOR (Antivalencia, Kizáró VAGY) kaput tudja megvalósítani, de egy másik kimenetén egyúttal a XNOR (Ekvivalencia) függvénynek megfelelő kimenőjel is kilép!

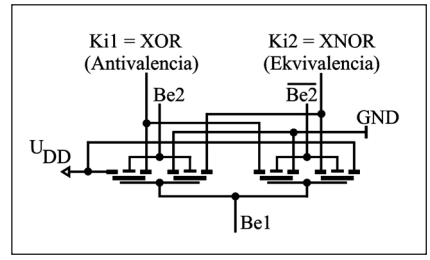


45. ábra

A kísérleti áramkörökben olyan nanoreléket is kialakítottak, melyeknél a gate területet két félre bontották. A méretek változtatásával elérhetővé vált, hogy a működtető feszültség csak akkor tudja zárni az érintkezőt, ha a gate mindkét térfelére rákapcsolják a megfelelő feszültséget. Így önmagában ez a gettős gate (Dual-Gate) már ÉS kapu jelleget kölcsönöz a jelfogónak.

A **47. ábrán** egy megvalósított, nanorelékkel kialakított digitális integrált áramkör csipfotója látható. A chipet a CU laboratóriumában készítették el, de a logikai tervezésbe bevonták a MIT kutatóit is. A felső területen különféle logikai egységek helyezkednek el, pl. fél- és teljes összeadók. A lapka alsó részén látható önálló egység egy 100 nanojelfogóból álló szorzó áramkör, ennek kapcsolási rajza teljes egészében a MIT kutatói munkája. A MIT munkatársai felismerték, hogy a félvezetőre épülő csipek működési idejének jelentős részét a kapcsolási megoldások okozzák. Az elektronikus csipekben a CMOS tranzisztorokkal kapukat alakítanak ki, a logikai működéseket e kapuk felhasználásával tervezik meg. Ilyen áramkörben az egyik kapu mindig az előző, másik kapu kimenetének alakulására vár, ami jelentős többletidőt eredményez. A működési idő csökkentése és a kapcsolás egyszerűsítése érdekében a CU által kidolgozott relés megoldásokon kívül további kapcsolási fogást is bevetettek. A hajdani relés készülékekben alkalmazott megoldáshoz fordultak, a logikai ÉS és VAGY függvényeket a nanorelék soros illetve párhuzamos kapcsolásaival valósították meg. Egy ilyen egységben az összes jelfogó egyidejűleg működhet, ami azt eredményezi, hogy a működési idők nem adódnak össze! Az általuk alkalmazott kapcsolástechnika tehát az effektív működési időt jelentősen csökkentette, ráadásul kevesebb jelfogót igényel, mint egy CMOS kapcsolás egyszerű átrajzolása a nanojelfogókra.

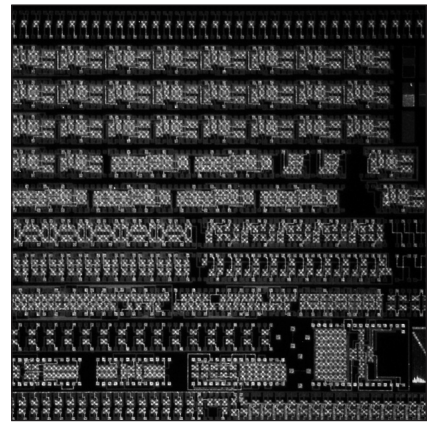
A CU és a MIT kutatói egyértelműen jelentős jövőt jósolnak a nanorelés csipeknek. Az ellentábor a működési időket tartja hosszúnak, amin a szerkezet finomításával, megfelelő anyagok alkalmazásával lehet javítani, sőt, mint láttuk, még a kapcsolástechnika átalakítása is növelheti az áramkör sebességét. Felvetődik, hogy a hagyományos



46. ábra.

relék érintkezői idővel kopnak, ez a nanorelék élettartamát is korlátozza. A valóság az, hogy kemény anyagokat alkalmaznak érintkezőként, pl. wolfrámot, a szimulációs számítások alapján négy milliárd kapcsolást viselnek el a parányi jelfogók. Ez azt jelenti, hogy 24 órás üzemben, 100 MHz-es frekvenciával történő ki-be kapcsolgatások esetén 10 évig hibamentesen működnek. Az is feltételezhető lenne, hogy a nanorelére épülő csipet tartalmazó készülék durva mozgatása miatt hamis átkapcsolások következhetnek be. Ezzel szemben a kísérletek azt mutatták, hogy csak rendkívül nagy gyorsulás esetén történhet meg a nem kívánt elmozdulás. A gyakorlatban ezért nem kell a hibás kapcsolásoktól tartani, mert pl. egy mobiltelefon földre esésekor is sok nagyságrenddel kisebb gyorsulás lép fel, mint ami a jelfogók mozgó részét tartó rugók erejét le tudná győzni.

A CU mindenesetre felkészült arra, hogy processzor bonyolultságú nanorelés csipeket állítson elő. Optimizmusukat erősíti, hogy jelentős félvezetőgyártók is kísérleteznek laboratóriumaikban a nanorelés áramkörökkel. Az IBM és az STMicroelectronic pl. közös kutatást végez ebben a témában, elsősorban a rendkívül kis szivárgási áramok, így a jelentéktelen energiafogyasztás a vonzó számukra. Ugyanakkor hadászati és űrkutatási le-



47. ábra

hetőségeket jelent, hogy a nanoméretű elektromechanikai eszközök magas hőmérsékleten is biztonságosan működnek, a különféle sugárzásokra pedig érzéketlenek. Az IBM már beszámolt egy olyan nanoreléről, ami 10 ns kapcsolási idővel működik.

A nanorelékkel foglalkozók is tervezik a szén nanocsövek felhasználását, a parányi jelfogók alkatrészeként. Ismeretes ugyanis, hogy a szén nanocsőnek minimális a villamos ellenállása, viszont jelentős a mechanikai teherbíró képessége. Az elméleti számítások szerint a nanocsöves jelfogó gigahertzes frekvenciával is működtethető, hiba és tévesztés nélkül. Mindenesetre ezekre a prototípusokra még várni kell egy ideig.

6. Befejezés helyett

Mint láttuk, számos fejlesztési lehetőség kínálkozik a csipek gyártói számára, hogy a jövő még hatékonyabb processzorait elő tudják állítani. Az azonban ma már vitatott, mit jelent a hatékonyabb processzor. Bizonyosnak látszik, hogy mindazt egyszerre nem lehet megvalósítani, amit eddig a Moore-törvény szorításában teljesítettek a fejlesztők, nem lehetnek a következő évtizedekben megjelenő processzorcsipek nagyobb tranzisztorsűrűségűek, nagyobb sebességűek, kisebb fajlagos fogyasztásúak és kisebb fajlagos árúak egyszerre. Megismerkedtünk több lehetséges új tranzisztortípussal is. Ha ezek lehetővé teszik komplementer jellegű párosok előállítását, akkor a kapcsolástechnika megmarad CMOS. Elképzelhető azonban, hogy egyféle tranzisztort, vagy tranzisztort helyettesítő áramköri egységet használnak majd, akkor a CMOS diadalútja lezárul. Egy dolog viszont biztosan kimondható: a gyártók nem tesznek le arról, hogy évről évre új, a felhasználóknak előnyöket biztosító processzorokkal rukkoljanak elő. *A hajdani tengerészek jelmondatának mintájára: Fejleszteni pedig muszáj*!

Felhasznált irodalom:

1. Dr. Madarász László: A digitális CMOS áramkörök megjelenése, első 30 éve. Rádiótechnika Évkönyve 2019. 105 – 137. o.

2. Dr. Madarász László: A digitális CMOS áramkörök 2000-2020 között. Rádiótechnika Évkönyve 2020. 150 – 167. o.

3. Pálinkás Tibor: Csőcsipek. Rádiótechnika 1998/06. 287. o.

4. https://www.wikipedia.org/

További források: a megemlített kutatóhelyek, gyártók hivatalos web-oldalai

INCOMP Electronics Elektronikai alkatrész kis- és nagykereskedelem

2120 Dunakeszi, Fő út 35. Tel.: 27/342-407 Fax: 27/341-601 E-mail: incomp@dunaweb.hu
Nyitva: hétköznap 9.00–17.00 óráig Postai utánvételes csomagküldés

Raktárról kínálunk többezer féle elektronikai alkatrészt.
IC-k, ellenállások, kondenzátorok, diódák, tranzisztorok, LED-ek, kvarcok stb. nagy választékban, SMD kivitelben is.
RIGOL műszerek disztribúciója Internet címünkről www.incomp.hu online keresési és rendelési lehetőség! 2

Itt a nagy évkönyvvásár!

A RÁDIÓTECHNIKA ÉVKÖNYVE

1994, 96, 97, 98, 99 kötetek közül 1 db csak 1490 Ft-ért, a

2000, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 kötetek közül 1 db 1490 Ft-ért,

A 2011, 12, 14, 15, 16, 17 kötetek közül 1 db csak 1490 Ft-ért,

a 2018, 19, 20 kötetek közül 1 db csak 2490 Ft-ért kapható.

HAM-bazár 1138 Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H - P. 09 - 14 ó., Csüt. 09 - 17 ó.
239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu 3

Karácsonyi Kezdőkészlet

Dobókocka kit 1990 Ft

Kék-vörös villogó kit 1990 Ft

12 – 12 db-os, 5 mm-es
kék és vörös LED-csoport.
Állítható villogási sebesség.
NE555 és CD4017 IC.

Szerencsekerék kit 1990 Ft

10 db 5 mm-es vörös LED.
Körbefutó fényt ad,
ez nyomógombbal megállítható.
NE555 és CD4017 IC-vel.

DT-830B digitális multiméter 1990 Ft

200 mV ... 1000 V DC
0,2 mA ... 10 A DC
200 V ... 750 V AC
200 ohm ... 2 Mohm
Tranzisztor és dióda teszter.

Forrasztókészlet 9990 Ft

ALAP:
Hőmérséklet-beállítós forrasztópáka (230 V/60 W)
Forrasztópáka-állvány
5 db forrasztópákahegy
Forrasztóón (1 mm, 10 g)
Önszippantó
Eszközhordó táska

TARTOZÉKOK:
Az összetételük változó, de a szettek összértéke egyforma! (Például: a páka 80 W-os, LCD hőfokkijelzővel – a szettben kevesebb az egyéb kiegészítő.)

A fenti teljes Karácsonyi Kezdőkészlet együttes ára csak: 15.990 Ft.

(A készlet egyes elemei külön is megvásárolhatók.)

A kitek összeállítását kezdőknek segítséggel ajánljuk. – A készletekről utazás előtt érdeklődjön!

A »HAM-bazár speciál« készülékeiről, készleteiről további információ a honlapunkon található!

HAM-bazár 1138 Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H - P. 09 - 14 ó., Csüt. 09 - 17 ó.
239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu 2

„Forrasztani csak pontosan, szépen... – ezekkel érdemes!”

SMA-50 csak 17.990 Ft
Analóg forrasztóállomás
transzformátor + páka + pákatartó szivacssal

- 48 wattos gyors felfűtésű páka
- beállítható hőmérséklet: 150...420 °C
- hőálló szilikonkábel
- szilikongumi a markolaton
- szerszám nélkül cserélhető pákahegy

+ árban foglalt 5 db klf. pákahegy

Fahrenheit 28011 csak 23.990 Ft
Digitális forrasztóállomás
transzformátor + páka + pákatartó szivacssal

- 24 V/48 wattos hőérzékelős, kerámia fűtőbetétes páka
- 150...450 °C pákahőmérséklet, digitálisan, folyamatosan beállítható
- fix hőmérséklet-állító gombok: 200/300/400 °C
- dupla LCD: kívánt/valós pákahőfok kijelzéssel
- rendelhető páka (2500 Ft) és pákahegyek (2490 Ft/4 db)

HAM-bazár Budapest XIII., Dagály u. 11. I. emelet, folyosóközép H–P. 09–14 óra, csüt.: 09–17 óra
Postán is elküldjük! (+36) 1 239-4932/36 m., 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu 9

Elektronikai eszközök, készülékek hűtése

Lambert Miklós okl. villamosmérnök, lambert@milambi.hu

Az elektronika ma már „csodákra” képes, de a csodák megvalósításának ára van. Az elektronikai alkatrészeket – főként a félvezető alapúakat – környezetállóan kell elhelyezni, ennek egyik legkritikusabb követelménye a környezeti-működési hőmérséklet határainak betartása. Az alkatrészek ugyanis a működés során veszteségi hőt termelnek, amely károsan hat a működésre, sok esetben meghibásodást okoz. Ezt a hőenergiát a környezetnek át kell adni, a kritikus helyekről el kell vezetni. Cikkünkben összefoglaljuk a hűtési megoldásokat, amelyeket a konstrukció során alkalmazni kell.

1. Hőtani alapok, termikus tervezési alapfogalmak

A villamos áramkörtervezés mellett legalább olyan fontos a termikus tervezés, ugyanis az aktív elektronikai alkatrészek működésük során veszteségi hőt termelnek, amibe besegítenek hatásos ellenállások is. A szilícium alkatrészek réteghőmérséklete általában nem haladhatja meg a 90…100 °C-t, néhány esetben ez lehet több, vagy kevesebb is; gondosan utána kell nézni. Egy-egy készülék áramkörei nem egyenletesen termelik a veszteségi hőt, hanem néhány alkatrész forszírozottan. A helyi túlzott felemelegedéseket helyileg kell hűteni, erre a mai áramkörtervező programok szimulációs módszerekkel támpontot adnak. De hogyan számoljunk ezzel? A hőtani alapösszefüggések szolgálnak ezek figyelembevételére, amelyet röviden összefoglalunk, bár a szakirodalom ebben igen bő.

A termikus tervezés célja, hogy a működés során keletkező veszteségi hőt a rendszerből kivonjuk, ezzel elkerüljük a helyi túlmelegedést. Ezek jobb megértéséhez vizsgáljuk meg az anyagok hőmérsékletváltozásának menetét a termodinamika ismert összefüggései alapján.

A tárgyalás alapösszefüggése szerint a Q *hőenergia*, amely c *fajhőjű*, m tömegű anyag ϑ_1-ről ϑ_2 hőmérsékletre való változásához szükséges:

$$Q = c \cdot m \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \qquad (1)$$

A hőmérsékletváltozás a *hő terjedése* során megy végbe. A hőterjedés, vagy hőáram az időegység alatt megváltozott hőenergia, amely teljesítmény (W) dimenziójú.

A hőterjedés ismert módjai: *hővezetés, hőáramlás, hősugárzás*.

Az elektronikai áramkörök jelentős részénél (főként a jelfeldolgozó áramköröknél) a szerelőpanelen elsősorban csak a hővezetéssel számolunk, a környezeti szoba-hőmérséklethez képest kis túlmelegedési hőmérsékletnél a sugárzás mértéke elhanyagolható, különleges eseteket kivéve folyadékok és gázok nem vesznek részt hőterjedési közegként, tehát a hőáramlással és hősugárzással sem számolunk. Ha viszont teljesítmény-félvezető található az áramkörben (ez alatt nemcsak teljesítménytranzisztort, vagy teljesítmény-LED-et értünk, hanem pl. számítógép processzorát is), akkor többlépcsős hűtést alkalmazunk, azaz a hőtermelő alkatrész (akár egy ellenállás is) egy disszipáló eszközön (többnyire hűtőbordán) keresztül adja át a veszteségi hőt a környezetnek, amelyet további, hőáramlással, ill. hősugárzással csatolunk a környezethez.

A hagyományos technika szerint disszipáló eszközként jó hővezető fém, többnyire alumínium, vagy vörösréz szükséges. A tömeggyártás területén előretörő műanyagipar – éppen a jó fröccsönthetősége miatt – a hűtéstechnikában is kínál megoldást a hővezetésre, a fémekénél gyengébb, de azért használható hővezető műanyagok terjednek a technikában. Lássuk a hőterjedés módjait sorban!

1.1. Hővezetés

Hővezetés a hő terjedésének az a módja, amit az anyag különböző hőmérsékletű részecskéi úgy idéznek elő, hogy helyüket nem változtathatják. Nagyobb energiájú rezgések addig adódnak át, míg az összes részecske rezgése (hőenergiája) azonos nem lesz. A hővezetés a szilárd fázisállapotú (halmazállapotú) anyagokban a hő terjedésének jellemző módja. A jelenséget a Fourier-féle transzportegyenlet fejezi ki, amelyben a hőmérsékleti gradiens, azaz Δl hosszúságú úton a hőmérséklet változása.

A *hővezetési tényező*, jele: λ anyagminőségtől függ. Azt fejezi ki, hogy időegységenként mennyi hő vezetődik át A egységnyi keresztmetszetű és l egységnyi hosszúságú anyagon 1 K (1°C) hőmérsékletkülönbség mellett. Dimenziója: W/(m·K). Meghatározásához a Fourier hővezetési törvényből indulunk ki:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot A \frac{\Delta \vartheta}{\Delta l} \ , \qquad (2)$$

amelyből a λ hővezetési tényező disszipálandó teljesítmény behelyettesítésével:

$$\lambda = \frac{P \cdot l}{A \cdot \Delta \vartheta} \ . \qquad (3)$$

A λ hővezetési tényező mellett a technikában használatos még a *hőmérsékletvezetési tényező*, amelyet *hődiffuzivitás*nak is neveznek. A hőmérsékletvezetési tényező a hőmérséklet térbeli és időbeli eloszlásának a jellemzésére szolgál, miután a rendszer adott helyén egy hőmérsékletváltozás következett be. Ez a fizikai mennyiség a hővezetési tényezővel együtt alkalmas a hőáram, mint transzportjelenség leírására.

$$h_\vartheta = \frac{P}{\rho \cdot c} \ , \qquad (4)$$

ahol:
h_ϑ a hőmérsékletvezetési tényező, m²/s
λ a hővezetési tényező, W/(m·K)
P a disszipálandó teljesítmény, W
ρ a sűrűség, kg/m³
c a fajhő, J/(kg·K)

Fémek 20 °C	Sűrűség	Fajhő	Hővezetési tényező	Hőmérséklet-vezetési tényező
Mértékegység	kg/m^3	J/(kg·K)	W/(m·K)	10^{-6}·m^2/s
Alumínium	2700	0,888	237	98,8
Ezüst	1050	0,235	427	173
Réz	893	0,382	399	117
Vas	786	0,452	81	22,8
Plexi	118	1,44	0,184	0,108
Hővezető műanyag	205	1,03	1,2	0,9

1. táblázat

A hővezetési tényező, mint anyagi jellemző stacioner (időben állandósult) viszonyok között jellemzi a hőáramlási viszonyokat. Az időben változó jelenségek leírására alkalmasabb a hőmérsékletvezetési tényező. Az elektronikában a hővezetési tényezőnek a hűtőbordával hűtött teljesítményeszközök számításánál és mérésénél van nagyobb jelentősége, a levegő- és vízhűtött rendszereknél jobban használható a hőmérsékletvezetés.

A hővezetési és hőmérsékletvezetési tényezőket különböző anyagokra a vonatkozó szakirodalom táblázatai tartalmazzák, néhány anyag adatait az **1. táblázatban** is megtalálhatjuk.

1.2. Hőáramlás

Hőáramlás (konvekció): a hőterjedésének az a módja, amit az anyag különböző hőmérsékletű részecskéi úgy idéznek elő, hogy helyüket változtathatják. A hőmérsékletkülönbség sűrűségkülönbséggel jár, – a melegebb kisebb sűrűségű részecskék elmozdulnak, hőtartalmukat is magukkal viszik, helyükbe hidegebb alacsonyabb sűrűségű részecskék áramlanak. Folyadék- vagy gázfázis állapotú (halmazállapotú) anyagokban a hő terjedésének jellemző módja. Az áramló folyadék vagy gáz valamilyen szilárd felülettel érintkezve annak hőt tud átadni.

A *hőáramlási tényező*, jele: α_ϑ anyagminőségtől függ. Azt fejezi ki, hogy időegység alatt mennyi hő adódik át 1 m^2 felületről 1 m^2 felületre 1 K (1 °C) hőmérsékletkülönbség mellett. Értékét a fal mellett áramló közeg sebessége is befolyásolja.

$$\alpha_\vartheta = \frac{P}{A \cdot \Delta\vartheta} \cdot \qquad (5)$$

1.3. Hősugárzás

Hősugárzás akkor lép fel, amikor a hőenergia felületről felületre elektromágneses sugárzás formájában terjed, miközben a közbenső közeget alig, vagy egyáltalán nem (világűr) melegíti fel. A sötét és érdes felületek kisugárzása nagyobb, mint a világos, fényes felületeké. A sugárzó képesség a felületi hőmérséklet emelkedésével rohamosan nő.

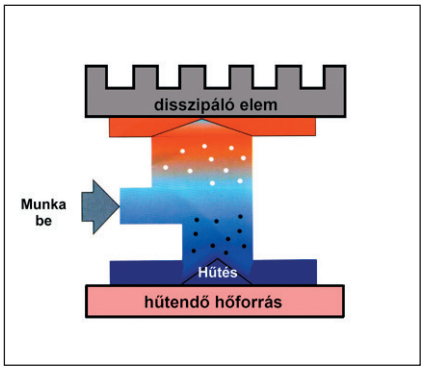
A *hősugárzási tényező*, jele: α_r anyagminőségtől függ. Azt fejezi ki, hogy óránként mennyi hő sugárzódik át 1 m^2 keresztmetszetű felületről 1 K (1 °C) hőmérsékletkülönbség mellett.

$$\alpha_r = \frac{P}{A \cdot \Delta\vartheta} \cdot \qquad (6)$$

2. A hűtés számítása

Elektronikai berendezéseinkben az alkatrészek működésük során veszteségi hőt termelnek. Ezt a hőt a készülékből el kell vezetni.

A disszipációs hűtés fizikáját a Carnot körfolyamat adja. A testek felmelegedése és lehűtése körüli energiafolyamatokat Carnot (1796-1832) írta le először. Magyarázatát az **1. ábra** adja. Carnot szerint a folyamat reverzibilis, valójában a természetben körfolyamatról beszélhetünk.



1. ábra

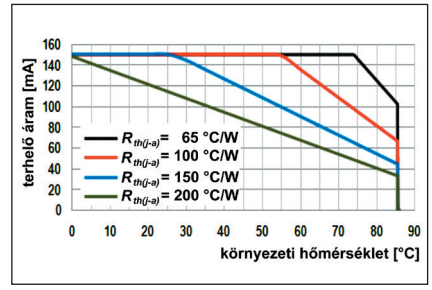
A hűtendő eszköz (hőforrás) hőmennyiségét a kisebb hőmérsékletű környezetének leadja, de a folyamat a fizikai felépítéstől függően időben megy végbe, a hőforrás hőmérséklete egy megnegedett érték fölé emelkedhet (pl. félvezető eszköz), ami tönkremenetelét okozza. A hűtés feladata, hogy a megtermelt (többnyire veszteségi) hőmennyiséget elvezesse, és egy disszipáló elemmel adja át a környezetnek. A hűtőkörbe bevezetett munka a közeg energiaállapotát növeli (fekete pontok), a hőmennyiség abszorbeálódik, ami az anyag lehűlésével jár. Ezen az oldalon tehát hűtés következik be. A felszabadult energia meleg formájában távozik (fehér pontok), a közeg kisebb energiaállapotba kerül. A távozó hőt el kell vezetni, például hűtőbordával.

A befektetett munka egyszerűbb esetben a természetes hűtés (légmozgás, sugárzás), de ha ez nem elég, akkor az intenzitását lehet növelni pl. forszírozott hűtéssel, Peltier, vagy magnetokalorikus hűtéssel (lásd később).

Az esetek nagy részében a disszipált hőenergiát maga a hőtermelő alkatrész lesugározza, a természetes levegőáramlás elszállítja (pl. hálózati transzformátor, ellenállás stb.).

A hűtés tervezésénél a termikus körből indulunk ki, a feladat a keletkezett (káros) hőenergiát kivonni a rendszerből. Az alapadat tehát az eltüntetendő teljesítmény, valamint a forrás és környezet hőmérséklete. Példaként tekintsünk egy félvezetőeszközt, forrásnak a félvezető réteghőmérsékletét tekintjük és *j* indexszel (junction), a környezet hőmérsékletét pedig *a* indexszel jelöljük (ambiant). A félvezetőeszköz terhelhetőségét a katalógusokban található diagram adja meg, erre egy példát a **2. ábra** mutat.

Az ábrából látható, hogy adott munkapontban milyen hőellenállású hűtőbordát kell alkalmazni. De mi is az a hőellenállás, vagy termikus ellenállás?



2. ábra

A hőáramkör – a villamos áramkörhöz hasonlóan – impedancia-elemekből, és az azt tápláló energiaforrásból áll. A hőáramkör elemei (alkatrészei) között az 1. fejezetben megismert módokon terjed a hő. Az ismert Ohm-törvény a termikus körre is igaz, a méretezésre is azt használjuk.

A villamos áramkörhöz hasonlóan, ahol az elektronok az U_2 nagyobb potenciálú pontról a kisebb U_1 potenciálú pont felé vándorolnak, a hő is a ϑ_{meleg} pont felől a ϑ_{hideg} felé terjed, az elektromos I áramnak megfelelően Q hőáram „folyik”, amelynek mértékét az elektromos áramkör R ellenállása analógiájára R_{th} termikus ellenállás határoz meg.

A termikus tervezés során a keletkező (veszteségi) hőt alkalmas szerkezeti kialakítással a környezetbe kell vezetni, ezt hívjuk disszipációnak. A hűtés kétféle módszerrel oldható meg, *passzív*, vagy *aktív* rendszerrel, azaz természetes, vagy forszírozott hűtéssel. A passzív módszer szerint ez a disszipáló eszköz, amely egy nagyfelületű, és jó hővezető anyagból készült egység. A szakirodalom főként hűtőbordaként ismeri, bár egyszerűbb esetekben a disszipáló eszköz lehet maga a szerelőpanel is, megfelelő szabad felülettel, amelyre jó hőcsatolással szereljük a hőforrásul szolgáló áramkört.

A hőt a levegő természetes konvekcióval szállítja el, amelyet a meleg levegő kisebb fajsúlyából eredő áramlás idéz elő. A jobb hatásfok érdekében célszerű a hűtőbordákat úgy szerelni, hogy a bordák függőleges irányban álljanak. A jó hőcsatolást részint simára munkált érintkező felületek, részint a közé szorult (rossz hővezető) levegő kiszorítására szolgáló (alkalmasint ezüstporral emulgeált) szilikon paszta, vagy jó hővezető műanyagfólia biztosítja. Ez utóbbit a szakirodalomban TIM-nek is nevezik (Thermal Interface Material). A hűtőborda anyaga többnyire alumínium, a jó hősugárzás érdekében feketére eloxált felülettel, igényesebb esetben használatos a vörösréz is, de jó eredményeket értek el fröccsöntött hővezető műanyag szerkezettel is.

A disszipáló eszköz (hűtőborda) hőellenállásának (R_{the}) méretezéséhez az ismert összefüggés az irányadó:

$$\frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{P_d} = R_{thjr} + R_{thrh} + R_{thha} = R_{the}, \qquad (7)$$

ahol ϑ_j a réteghőmérséklet, ϑ_a a környezeti hőmérséklet, P_d a disszipálandó tel-jesítmény, R_{thjr} a hőellenállás a réteg és referenciapont (mérhető szubsztrát) között, R_{thrh} a referenciapont és a disz-szipáló eszköz között, R_{thha} pedig a disszipáló eszköz és a környezet között.

Hagyományos módszerrel a hőáramkört méretezhetjük az egyes elemek statikus paramétereiből, de pontosabb és célravezetőbb a dinamikus számítás, amely célszerűen számítógépes programmal végezhető. Ilyen program például a BME-Mentor Graphics által kifejlesztett TERALED program, amelyet a [1] irodalomban találunk.

A disszipáló rendszer hatékonysága erőteljesen növelhető forszírozott hűtéssel, ennek viszont ára van (nemcsak értékben, hanem méretekben, tömegben, energiafelhasználásban stb.), amelyre a későbbiekben látunk példát.

A hűtési megoldások bemutatásánál speciális szerkezeti elemekre hivatkozunk, amelyekből két széles körben felhasználtat bemutatunk.

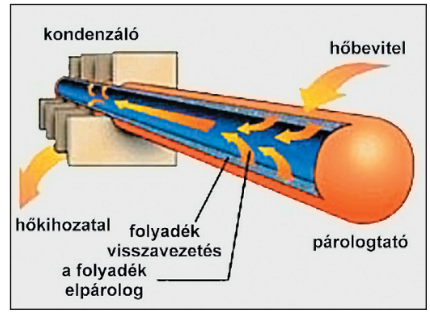
2.1. Hőcsatolás, TIM, hővezető cső

A hőáram, azaz a hő terjedése a termikus körben levő szerkezeti elemek között (mint a villamos áramkörben az alkatrészek között) nagyon fontos, ezek között jó hőcsatolást kell biztosítani. A hőcsatolásban résztvevő anyagoknak jó hővezetőnek kell lenniük. Összerűségi okokból törekszünk arra, hogy ez az út minél rövidebb legyen, hiszen az ellenállás a vezetés hosszával egyenesen arányos.

Ha a hőtermelő alkatrészt (teljesítménytranzisztor, LED stb.) hűtőtönkre kell szerelni, többnyire csavarozással, vagy rugós leszorítással járhatunk el. A jó hőcsatolás érdekében lehető sima, síkfelületeket kell egymáshoz illeszteni. A felületek tökéletlenségei miatt azonban kisebb-nagyobb légbuborékok maradnak a résben. A levegő viszont nagyon rossz hővezető, ezért alkalmas anyaggal törekedni kell ennek elkerülésére. Háromféle módszer használatos: a szilikon alapú zsír, a TIM fólia és a hővezető ragasztó.

Ismeretes, hogy a szilikonzsír önmagában is jó hővezető. Ha járulékosan réz-, alumínium- vagy ezüstporral telítik, akkor kiváló hőátadó csatoláshoz jutunk, és a légbuborékokat nagy valószínűséggel eltávolítjuk.

A másik módszer a TIM fólia alkalmazása. Ez egy elasztikus műanyag fólia, amelyet a felületek közé kell szorítani. Legismertebb gyártói az angol Laird Technology [2] és a Bergquist [3].



3. ábra

A harmadik módszer a hővezető ragasztó, mint pl. a Henkel Ablefilm [4], vagy a Hernon ragasztója [5], amely kiváló villamos szigetelési tulajdonságával tűnik ki, ugyanis a pasztaszerű ragasztó mikroszkopikus méretű üveggyöngyöket tartalmaz, ami megakadályozza az összeragasztandó fémfelületek fémes érintkezését. Ragasztót akkor célszerű használni, ha a szerelést nem kívánjuk bontani.

Sok esetben előfordul, hogy a hőtermelés közelében nem lehet disszipáló eszközt elhelyezni. A hő nagyobb távon való elvezetése hagyományos eszközökkel nagy veszteséggel oldható meg, ráadásul maga a vezeték is disszipál, esetleg alkalmatlan helyen. Erre a célra hővezető csöveket kell alkalmazni (heat-pipe). A hővezető cső egy olyan duplafalú cső, amelynek belső részén kis forráspontú folyadék van, a cső belső falára pedig porózus réteget visznek fel. A felforrt hőközvetítő folyadék a vezetéken végigáramlik, a párolgás hőelvonással jár, a cső bemenő végéhez csatolt hűtőborda ennek következtében lehűl, a hőközvetítő folyadék lecsapódik, és a porózus részben – jórészt a kapilláris hatás következtében – visszaáramlik a hőforráshoz, hogy ismét felvegye a hőenergiát, amely felforralja, és a folyamat folytonossá válik. A hővezető cső felépítését és működését a **3. ábra** mutatja.

A hővezető cső hővezetése nagyon jó, tipikusan 38 600 W/(m·K), a vörösrézének mintegy százszorosa [386 W/(m·K)], a hűtőbordaként leggyakrabban alkalmazott alumíniumének mintegy kétszázszorosa [204 W/(m·K)]. Többen gyártják a világon, egyik legismertebb gyártója az angol Thermacore [6], a koreai ICEPIPE pedig spirálba tekercselt hővezető csőből kialakított speciális hűtőegységet fejlesztett ki LED-es lámpák hűtésére.

2.2. Hűtőborda

Hűtőtönk céljára többnyire jó hővezető fémeket alkalmaznak, főként alumíniumot, de egyre több helyen vörösrezet (pl. számítógépek processzorainál), amelynek hővezető tényezője majdnem kétszeres. Hűtőtönkök gyártására cégek szakosodtak, alkatrész disztribútorokon keresztül az igényeknek megfelelően sokféle hűtőtönk között válogathatunk.

Készre gyártott alumínium hűtőtönk megválasztására gyakorlati összefüggés alkalmazható. Ehhez definiáljuk a g_h hűtési faktort, amely a hűtőborda hőellenállásának és tömegének szorzata, és ennek kisebbnek kell lennie 1-nél:

$$g_h = \frac{\vartheta_L \cdot m_h}{P} < 1 \ , \qquad (8)$$

ahol ϑ_L a hőforrás talpponti hőmérséklete °C-ban, m_h a hűtőtönk tömege kg-ban, P pedig az eldisszipálandó teljesítmény W-ban. A g_h hűtési faktornak nincs fizikai jelentése, gyakorlati összefüggés, segít a különféle gyártmányok közötti válogatásban, viszont nem teszi feleslegessé a pontosítást a megválasztott hűtőborda méretezésében. Extrudált hűtőtönknél a gyártó által megadott összefüggéssel kell méretezni a kellő hőellenállásnak megfelelő leszabandó hosszt.

A legegyszerűbb pl. TO-5-ös (TO-39-es) tranzisztorra húzható lemezből készült hűtőcsillag, de 1 W-on felül tömör fémből készült hűtőtönköket használnak.

A hűtőtönkök gyártásánál a sorozatnagyság figyelembevételével a gazdaságosságot erősen befolyásolja az alkalmazott technológia. A hagyományos forgácsolási technológia (esztergálás, marás stb.) legfeljebb fejlesztési mintadaraboknál használatos. Ma már hagyományosnak számítanak az öntéssel, precíziós kokilla-öntéssel előállított hűtőtönkök is, de inkább a teljesítményelektronikai eszközök (diódák, tirisztorok, IGBT-k stb.) készülnek ilyen módon, általában 50…100 W-nál nagyobb disszipációra. A LED-es világítótestek főként présöntéssel készülnek, a hőátadó felületek utólagos forgácsolási megmunkálásával. LED-ek számára kedvelt és elterjedt megoldás az extrudálás, főként alumíniumnál. Egyik legismertebb gyártó a német Fischer Elektronik [8], de számos hazai gyártású is fellelhető. A lehető jó hőleadás érdekében az alumínium hűtőbordákat feketére eloxálva hozzák forgalomba.

Újszerű hűtőbordagyártási eljárás a hidegsajtolás. Szerszámköltség itt is jelentkezik, de a sajtolási eljárást nem kell kiegészíteni további munkafolyamattal (utólagos felületmarás stb.), a hűtőbordát legfeljebb felületkezelő eljárásnak kell alávetni (eloxálás, festés). Legfőbb előny, hogy a hidegsajtolt alumínium hővezető képessége 2,36-szorosa az öntött alumíniuménak, ami méretcsökkenést, helymegtakarítást tesz lehetővé. A hidegsajtolt hűtőbordák egyik nagy gyártója, a tajvani GlacialTech katalógusa érzékelteti a viszonyokat, a **4. ábra** szerint. FR210 hűtőbordája hővezető képessége 227 W/(m·K), szemben ennek öntéssel előállított elődjétől, amelynek hővezető képessége 96,2 W/(m·K) volt. (AL1050 alumínium anyagra).

A hűtőborda térbeli elhelyezése a konstrukción belül nem közömbös: törekedni kell arra, hogy a bordák lehetőleg függőlegesen álljanak. A természetes konvekció során ugyanis a meleg levegő felszáll, és ez a „kéményhatás" mint léghuzat hűti a felületet, a szabad légáramlást pedig a függőleges bordázat biztosítja.

Az extrudált hűtőbordákat folyóméterben árulják a gyártók. Méretezéséhez számítási segédletet adnak, vagyis a kívánt hőellenálláshoz megadják az extrudált borda hosszát. Ez azonban cégspecifikus, az adott termék forgalmát segíti. Ha viszont nem vagyunk elkötelezve egy cég adott típusára, akkor hűtőfelületre és hőellenállásra, vagy hővezető képességre kell méretezni.

A hűtőborda hővezető képességét tovább javítandó, kombinált hűtőborda készíthető öntött, extrudált, vagy hidegsajtolt hűtőborda és hővezető cső összeépítésével. Ilyen technológiát alkalmaz pl. a Laird Technology amerikai és a GalcialTech tajvani cég. Az **5. ábrán** ez utóbbi hűtőbordája látható, amely egyébként a már említett hidegsajtolásos technológiával készül.

A (teljesség igénye nélkül) bemutatott szerkezeti elemek után lássuk a hűtési módszereket!

3. Hűtési megoldások

3.1. Természetes hűtés

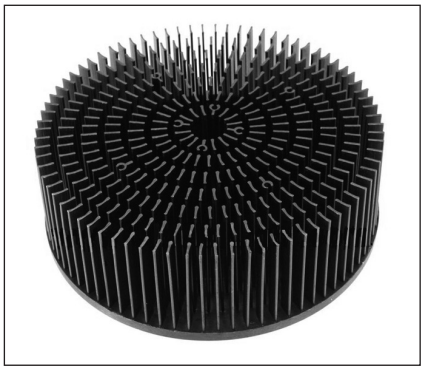
Természetes hűtésnél a félvezető eszközzel termikus csatolásban levő disszipáló elem (hűtőtönk) közvetlenül a környezetnek adja le a hőt. A hőleadás sugárzás és természetes konvekció útján jön létre, amelyből a sugárzás elhanyagolható mértékű, a gyakorlatban csak a környező levegővel (esetleg más hűtőközeggel) való konvekcióval számolhatunk.

A hőt termelő teljesítményelektronikai eszközöket kétféle módon szokták az áramkörbe iktatni:

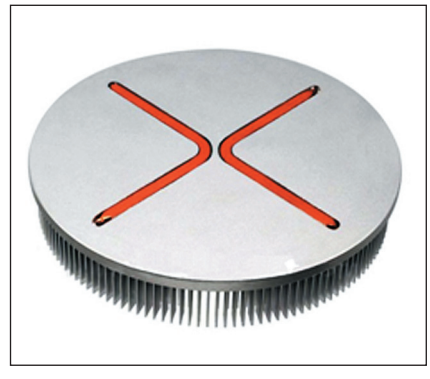
1. kisebb disszipáció esetén a nyomtatott huzalozású szerelőlapra forrasztással, ami nagyobb disszipáció igényekor egyébként a hőcsatolás szerepét is elláthatja járulékos hűtőtönk alkalmazásához. Az előbbi esetben a szerelőlap rézfóliás felülete betöltheti a hősugárzó szerepét is, az utóbbi esetben a szerelőlap speciális kialakítású,
2. nagyobb disszipálandó hőenergia esetén a hőforrást adó (félvezető) alkatrész hűtőtönkre való mechanikai szerelésével (ekkor ügyelni kell az esetleges szigetelésre), ez esetben az áram hozzávezetés flexibilis huzalozással oldható meg.

– PCB, termikus viák

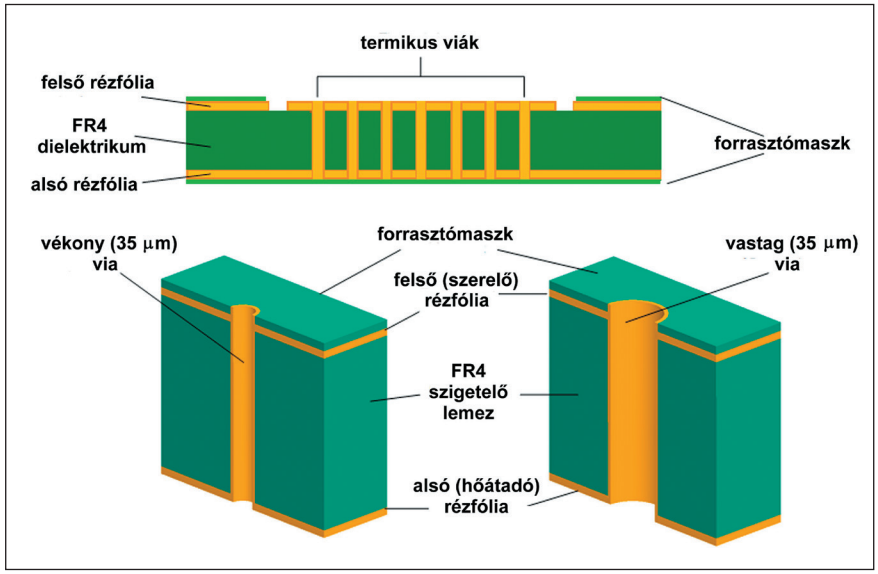
A nyomtatott huzalozású szerelőlap (néhány tömegterméktől eltekintve) üvegszál-erősítésű epoxi hordozólemezre laminált rézfólia, az FR-4-es ismert anyag, amelynek tipikus hőveze-



4. ábra



5. ábra



6. ábra

tése 0,2 W/(m·K). A széles körben használt 1,6 mm-es lemez helyett ilyen esetben előnyösen használható a minél vékonyabb (0,8 vagy ennél is vékonyabb) hordozó. Ügyeljünk a rézfólia vastagságának megválasztására is, nagyobb áramoknál a villamos ellenállás sem közömbös, de hővezetés szempontjából is a vastagabb fólia kívánatos.

A szerelőlapos hűtés felülete egyszerűen növelhető kétoldalas lemez alkalmazásával. Az epoxi műanyaglap elég jó hőszigetelő, ezért ilyenkor átfémezett furatokkal, ún. termikus viákkal kell a hőt átvinni a túloldalra. Ha a szerelőlap egyúttal hőcsatoló is a hűtőtönk felé, akkor a termikus viák alkalmazása szükségszerű.

Az angolból átvett *via* kifejezésnek nincs általánosan használt magyar megfelelője, nagyon sima falú furat, amelyen a rézionok megtapadnak és járulékos galvanizálást követően összefüggő vastagságú rézvezetőt adnak, amely az elektromos áramot és a hőt a szerelőlap másik oldalára átviszi, a hőellenállást sokszor a forrasztás során beszívódott ón tovább csökkenti, tehát a hőátvezetést növeli.

A termikus viák méretezéséhez tekintsük a **6. ábrát**. Egy furat hőellenállása:

$$R_{thvia} = \frac{L}{k_h \cdot A} \quad , \qquad (9)$$

vagyis egyenesen arányos az L hosszal (azaz a szerelőlemez vastagságával) és fordítottan az A felülettel (azaz a furatgalvanizált hengerfal keresztmetszeti felületével), k_{th} arányossági tényező. A furatgalvánozott rétegvastagság az alkalmazott technológiától függően ~35 μm. A hőátvitelt több furattal lehet megoldani, ami a hőellenállások párhuzamos kapcsolásának tekinthető. n számú átvezetés eredő hőellenállása:

$$R_{thnvia} = \frac{L}{n \cdot k_h \cdot A} \quad . \qquad (10)$$

Az átvezetés eredő hőellenállásában az epoxi lemez hőellenállása, mint alap hőellenállás (amelyet a termikus viák söntölnek) is beleszámít, így a teljes eredő hőellenállás:

$$R_{the} = \frac{1}{\frac{1}{R_{thnvia}} + \frac{1}{R_{thFR4}}} \quad . \qquad (11)$$

A termikus viák tervezésekor némi optimumkeresésre van szükség. A diszszipáló fóliafelületet ugyanis egyrészt csökkenti a furatok felülete, másrészt a furatátmérő csökkentésével nő az elhelyezhető furatszám, de nő a gyártási költség is. A gyakorlatban nem célszerű 0,8 mm-es átmérő alá menni. Megjegyezzük, hogy a forraszfémmel telített termikus viák hőellenállása tovább csökkenthető, de technológiai problémát okozhat, hogy a túloldalra átjutó forrasz tönkreteheti a panel hőátadó sík felületét. Ezért a furatok olvadt forraszanyaggal való telítését a szerelt hőcsatolt felületre célszerű elvégezni, ha ez technológiailag megoldható. A tervezéshez ismerni kell a hővezetési tényezőket, amelyet az elektronikában felhasznált legfontosabb anyagokra nézve a **2. táblázat** tartalmaz.

Ha hővezető csővel vezetjük el a hőt, akkor nagyságrendekkel jobb eredményt lehet elérni: hővezető képessége 38 600 W/(m·K). Sok esetben a termikus viákkal kialakított szerelőpanel valamilyen hűtőtönknek adja át a hőt túloldalán. A jó hőcsatolást illesztett síkfelületek összeszorításával oldjuk meg.

A táblázatban pirossal jelöltük a levegő hővezető képességét, amely nagyságrendekkel rosszabb a fémeknél, de még a modern hővezető műanyagnál is. Ezzel a helytelen szerelés során kell számolni, amikor a hőcsatolásban résztvevő síkfelületek közé szorult légbuborék akár veszélyes mértékben is növelheti az eredő hőellenállást.

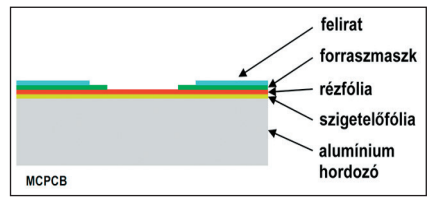
Anyag	Hővezető képesség W/(m·K)
Vörösréz	386
Alumínium	204
Forraszanyag (Sn/Ag/Cu)	35
Hővezető műanyag	1...30
FR-4	0,2
Levegő (légbuborék)	0,024

2. táblázat

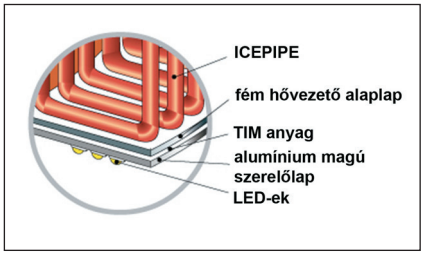
– MCPCB

Bár a termikus viákkal kialakított FR-4 szerelőlapot elterjedten használják, megjelentek speciális anyagok is, amelynek használatával a hőátadási hatásfok lényegesen javítható. Ezeket a szakirodalom MCPCB néven tartja számon, az M betű a fém alapra (többnyire alumíniumra) utal. Mára az SMD LED-es technológia szinte kizárólagos szerelőlapja. Felépítését a **7. ábra** mutatja.

A 0,5…1,5 mm vastagságú hordozóra ragasztással kasírozzák a rézfóliát, a ragasztó (fólia) a villamos szigetelés szerepét is betölti, többnyire epoxigyanta egy speciális fajtája, vagy valamilyen kerámia, ami egyébként a villamos szigetelést is javítja. Amíg a normál FR-4 szerelőlap hővezetése



7. ábra



8. ábra

0,8 W/(m·K), addig az MCPCB-é 4 W/(m·K). Ezek a szerelőlapok technológiailag hasonlóan dolgozhatók fel gyártáskor, mint az FR-4, csak nem kellenek a termikus viák.

Ilyen szerelőlapokat gyárt (többek között) az angol Laird Technologies. A hűtési megoldásairól híres Bergquist cég is gyárt jó hővezető tulajdonságú szerelőlapokat. A rézfólia és az alumínium hordozópanel között levő szigetelőanyag egy kerámia-polimer kompozit, jó hővezető és szigetelő tulajdonságokkal.

A német Kerafol [7] cég más megoldást dolgozott ki. A merev hordozót elhagyja, rábízza a felhasználóra, és papírvékonyságú, hajlékony fóliát alakít ki (~20 µm) speciális kerámia-polimer fóliára kasírozott rézfóliából. A rézfólián a hagyományos módon nyomtatott huzalozás alakítható ki, felületszerelt alkatrész ráforraszható, de akár kontaktfelületként is használható, a kerámia oldalt pedig hővezető ragasztóval tetszőleges hűtőtönk felületre ragaszthatjuk. A szerelés megkönnyítésére a cég forgalmaz kétoldalas ragasztó fóliát is. További hővezető ragasztó gyártásával foglalkozik (többek között) a Henkel cég.

Ha hagyományos szerelőpanelen levő hőtermelő alkatrészt kell természetes módú disszipációval hűteni, a hagyományos módszer a hűtőtönk, hűtőborda, amelyet a fejezet elején bemutattunk. Érdekes és egyedi megoldást dogozott ki a koreai ICEPIPE cég.

– Hővezető csöves hűtés

Hasonló elvi működésű, de talán a leghatékonyabb az FDP (Fluid Dynamic Pressure) hővezető csöves technológia, amelyben a hangsúly nem a hűtőbordán, hanem a hővezető csövön van. A szakirodalom más néven a folyadékhűtési rendszerekhez is sorolja, ugyanis folyadék-gőz áramlásán alapul a működése, számítógépek processzorainak hűtésére korábban is használták. Lényege, hogy az alumínium magú hőforráshoz (pl. MCPCB szerelőlap) lehető jó hőcsatoltan illesztik a hővezető csőből kialakított, csigavonalban fazontekercselt hűtőcsövet (IoT technológia, azaz ICEPIPE on Thermal Base). Ezzel a hővezető cső átveszi a hűtőborda szerepét is. A **8. ábrán** látható a csatlakozó felület részlete.

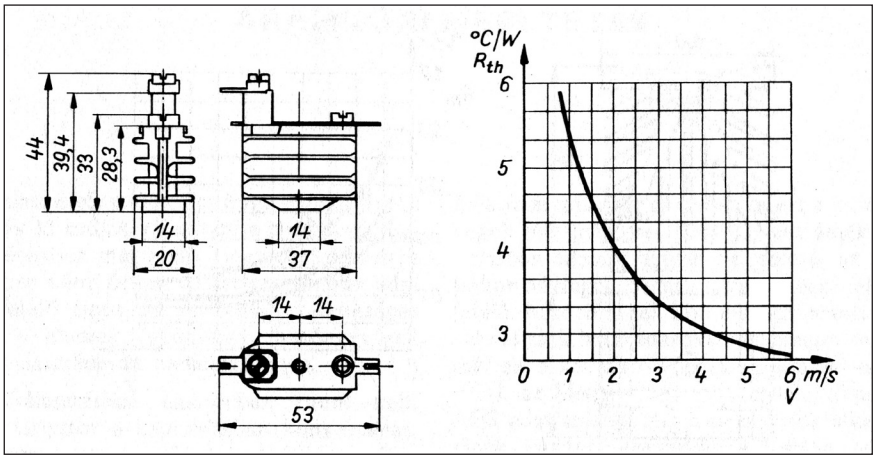
A megoldásnak sok előnye van. Tömege és mérete kicsi, tetszőleges formára alakítható, hatékonysága mintegy 30%-kal meghaladja a hűtőbordás kialakítást. Ezzel sikerült megalkotni pl. egy 2 kW-os fémhalogén reflektor 800 W-os LED-es kiváltó termékét.

– Hővezető műanyag hűtőszerelvények

Újabban megjelentek a hővezető műanyagok, amelyek egyre több esetben képesek felváltani a fémeket. Az ok elsősorban gazdasági, de a könnyebb szerelhetőség is szempont. A fém hűtőtönkök – a hidegsajtolást kivéve – extrudálással vagy kokillaöntéssel készülnek, és többnyire sorjázási, hőcsatoló felület síkbamarási-csiszolási utómunkálatokat igényelnek. A műanyag hűtőtönk precíziós fröccsöntéssel azonnal beépíthető, az előre kialakított furatokba önmetsző csavarral rögzíthető, tömege is kisebb (a könnyű alumíniumnál is mintegy 40%-kal könnyebb). Alkalmazásának ára a gyengébb hővezető képesség, amiért nagyobb hűtőfelületet igényel, de gondos tervezéssel ez akár háza, vagy tartó része is lehet az elektronikai készüléknek. A hővezető műanyag lehet elektromosan szigetelő (ez többnyire rosszabb hővezető és nehezebben sajtolható), de lehet vezető (vagy gyengén vezető), ekkor a villamos alkatrész szigetelt szereléséről kell gondoskodni. Három ismert cég, az amerikai Cool Polymer [9], a Laird Technology [2] és a japán Idemitsu [10] foglalkozik (többek között) hővezető műanyag gyártásával, de kifejlesztette a Budapesti Műszaki Egyetem Polimer Technológia Tanszéke is. [11]. Megjegyezzük, hogy a műanyagokat – egyéb helyen megszokott könnyű megmunkálhatósága mellett – a hővezetést segítő adalékanyagok a ridegség irányába viszik, ami pl. a fröccsöntőgépek megválasztására is keményebb technológiai feltételt szab.

3.2. Forszírozott hűtés

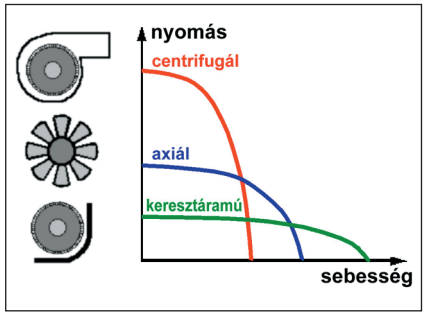
A forszírozott hűtés során a hőforrást adó alkatrészt a természetes hűtésnél bemutatott módszerekkel hűtőtönkre szerelik, de a hűtőtönk bordái között a levegőt mesterségesen áramoltatják (ventilátor), növelve ezzel hőátadó képességét, vagy a hőáramba egyéb módon energiát juttatnak (pl. Peltiert-elemmel, vagy magnetokalorikus egységgel), amely hőt von ki a rendszerből. A hűtőborda hőellenállása a levegő sebességével meredeken csökken. A **9. ábrán** egy példát láthatunk egy teljesítménydióda/tirisztor céljára szolgáló hűtőborda hőellenállásának változására a hűtőlevegő sebességének függvényében.



9. ábra

– Ventilátoros hűtés

A levegő mozgatásának klasszikus módja a ventilátor. A ventilátorok olyan áramlástechnikai gépek, amelyek légnemű közeget – legtöbbször levegőt – egy kisebb nyomású térből egy nagyobb nyomású térbe szállítanak. A szállítás során a közeg sebessége is megváltozhat. A szívóhelyen a levegőt felmelegíti a hűtendő eszköz.



10. ábra

A ventilátorok a forgástengelyen bevitt mechanikai teljesítményt alakítják át – a térfogatáram és nyomásnövekedés szorzatával jellemezhető – áramlási teljesítménnyé. A gép nagyságát az adott feladattól függően, számos egyéb jellemzője, típusa, kivitele, mérete, fordulatszáma határozza meg.

Többféle ventilátor használatos, és igényesebb esetben a hűtőbordát egy légcsatornában helyezik el, hogy környező légáramlat és egyéb hatások ne befolyásolják a légsebességet. A ventilátornak sajnos zaja van, többnyire karbantartás-igényes, és élettartama (néhány kivételtől eltekintve) általában nem összemérhető a hűtendő félvezető alkatrész élettartamával, több nagyságrendű lehet az eltérés.

A gépen történő átáramlás során a közeget összenyomhatatlannak tekinthetjük, így a szállított közeg sűrűsége, hőmérséklete gyakorlatilag változatlan marad, az új, hidegebb térbe érve viszont lehűl, a hőenergiát tehát „kiszívja” a hűtendő térből.

Állandó meghajtó teljesítmény mellett a különböző ventilátortípusok nyomás-sebesség jelleggörbéi a **10. ábra** szerint alakulnak. Centrifugál (radiál) ventilátort főként légcsatornás rendszerekben alkalmaznak, így erősáramú teljesítményelektronikai egységekben, vagy nagy felületek hűtését igénylő készülékekben, pl. fénymásológépekben. Az axiál ventilátorok a hűtőbordára közvetlen fújó rendszerek eszközei, ilyenek a számítógépek processzorhűtői, míg a keresztáramú ventilátorok (a radiál ventilátorok nyitott formája) alkalmazása olyan rendszerekben előnyös, ha a térben a levegő áramlása más elemekkel is irányított, mint pl. számítógépekben a videokártyákon elhelyezett GPU hűtőiben.

A ventilátorok zaját a lapátok aerodinamikai kialakításával lehet csökkenteni, optimalizálni. Egy időben pl. a Papst ventilátorait kis zajkeltésére való hivatkozással hirdette (Hallja? Nem hallja? Na hallja!).

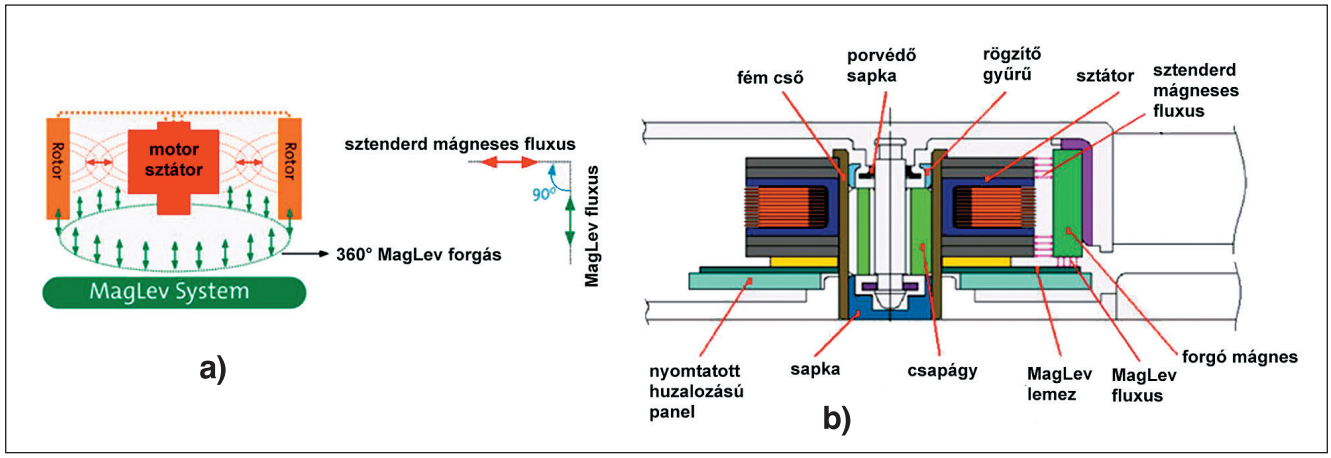
A ventilátorok meghajtó motorjai ma már kivétel nélkül kontaktusmentesek (nincs szénkefe, csúszógyűrű stb.), ami a karbantartási igényt jelentősen csökkenti. Nagyobb hűtőkben árnyékolt pólusú egyfázisú, vagy háromfázisú aszinkronmotor használatos, törpefeszültségű félvezetős készülékekben pedig a Hall-generátoros kommutációjú egyenáramú motorok terjedtek el, permanens mágnesből készült forgórésszel, 5, 12, ill. 24 V-os egyenfeszültségű táplálással. Ezeknél a ventilátoroknál a karbantartási igény a csapágykopásra és a kenésre szorítkozik.

Csapágyak terén kemény a verseny. Van, aki a golyóscsapágyra esküszik, és bár zaja nagyobb, élettartama is nagy, szemben a kiszajú szintercsapágyakkal, amely siklócsapágy, és a porózus bronzszinterben felitatott kenőanyag lassan elfogy, a melegtől is kiszárad, a ventilátor beszorul. Javítani többnyire nem éri meg, a szintercsapágy az olajat utólagosan nem szívja fel, mint gyártásakor a vákuumkamrában, ilyenkor az egész ventilátort illik cserélni.

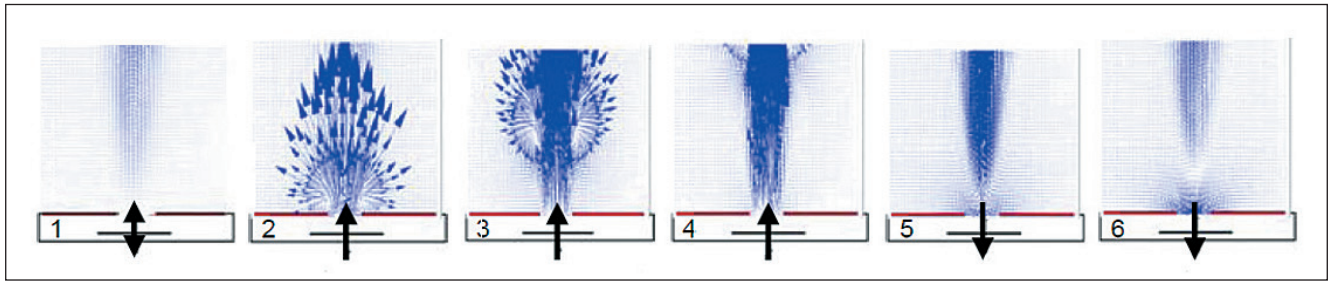
A csapágytechnikában forradalmi változást hozott a japán Sunon cég, amely megalkotta a *MagLev* csapágyat. Egy ilyen csapággyal kialakított ventilátor működését a **11. ábra** mutatja.

A MagLev szabadalmaztatott elnevezés a Magnetic Levitation, azaz a mágneses lebegtetés rövidítéséből származik. A találmány azon a felfedezésen alapul, hogy siklócsapágyaknál a súrlódást folyadékfilmmel (kenés, olajozás) csökkentik, mert a folyadék részecskéi könnyebben mozognak, közöttük a súrlódás nagyságrendekkel kisebb mértékű, és ez a gázoknál még intenzívebben jelentkezik. Ha a csapágyhüvely és csap között „levegőfilm” lenne, a súrlódás mértéke szinte mérhetetlenül kicsivé csökkenne. Ezt az elrendezést permanens mágneses körökből kialakított szerkezettel biztosítják. A működés lényege, hogy a motor sztenderd mágneses mezejével 90°-ot bezáró MagLev mágneses mezőt alakítanak ki, így a rotor tengelye a nagyon laza illesztésű mágnesezett hüvely közepén lebeg, légfilmen csúszik. A MagLev ventilátorok – abszolút karbantartásmentes üzeme révén – élettartama mintegy 50 000 óra, a szerkezeti műanyagok és a tekercsszigetelés öregedése, valamint a permanens mágnesek lemágneseződése (no és a termék erkölcsi elévülése) határozza meg az életciklus végét.

MagLev csapágyazással széles teljesítményspektrumban készülnek ventilátorok, kilowattos nagyságrendben házi szélerőművek generátor-meghajtásától kezdve a miniatűr méretekig kaphatók ventilátorok a Sunontól. Az eddig legkisebb méretű, 8×8 mm-es (!) ventilátor mind axiális, mind radiális kivitelben, elektronikai felhasználásra ajánlott.



11. ábra

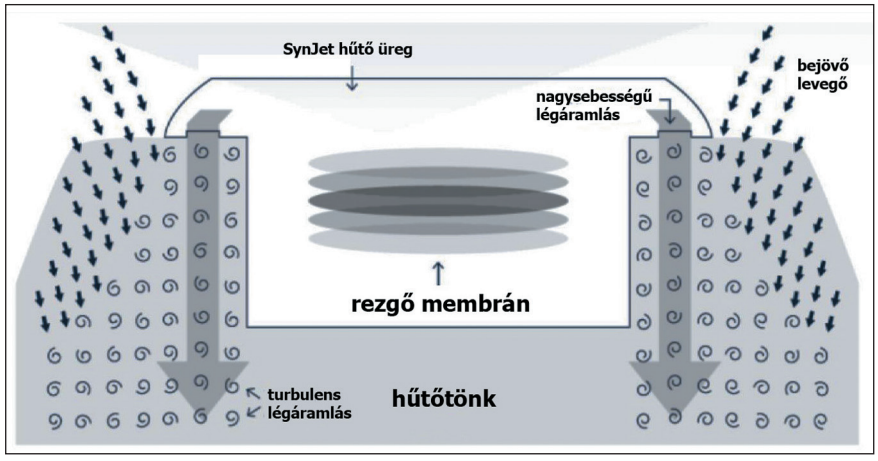


12. ábra

– Mikró légfúvók, gőzkamrák: SynJet hűtők

A forszírozott hűtők körében figyelemreméltó, forradalmian új szellőztetési megoldást dolgozott ki az amerikai Nuventix cég, amelyet *2014-ben felvásárolt az ugyancsak amerikai AAVID Thermalloy cég [12], és további technológiai megoldások seregét bocsátotta piacra. Itt a szabadalmaztatott SynJet hűtő működését mutatjuk be.*

A készülék a hűtőlevegőt piezoelektromos aktuátorral mozgatja meg, az ultrahangos frekvenciatartományban (~1,5 MHz) működő – MEMS technológiával előállított – parányi membránok hatalmas serege veszi át a ventilátorlapátok szerepét. Amíg azonban a ventilátornál a lapátok dőlésszögével a légáramlást „egyenirányítani" lehet, addig a szabadon futó membrán csak rezgést okozna.



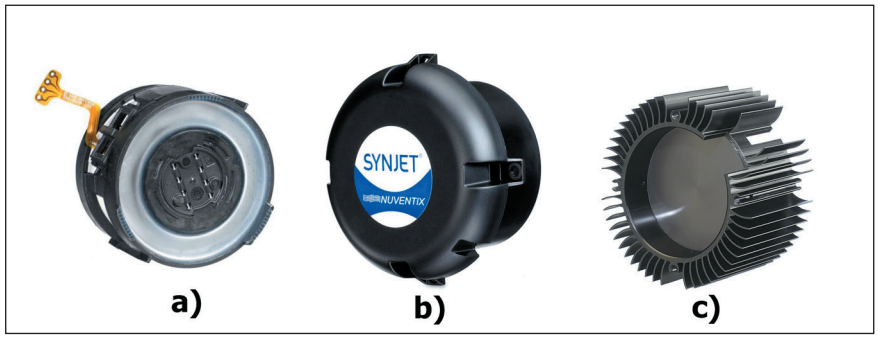
13. ábra

Ha azonban a membrán egy olyan térbe préseli a levegőt, amelynek kijárata egy kis keresztmetszetű fúvóka, akkor a fúvókán megjelenő levegő turbulens légáramként nagy, mintegy ötszörös sebességű szél formájában távozik, hatékonyan szellőztetve az eléje épített hűtőbordát; a rendszer működése egyfajta hőszivattyú. A Bernoulli törvénye alapján ($p \cdot v$ = konstans) a fúvókán kiáramló levegő nyomása csökken, így sebessége megnő, ami turbulens áramlást és szelephatást okoz a légmozgásban, és ez jó hatásfokkal helyettesíti a ventilátort, fogyasztása mintegy fele, zaja pedig nagyon kicsi, egészen halk suhogást okoz.

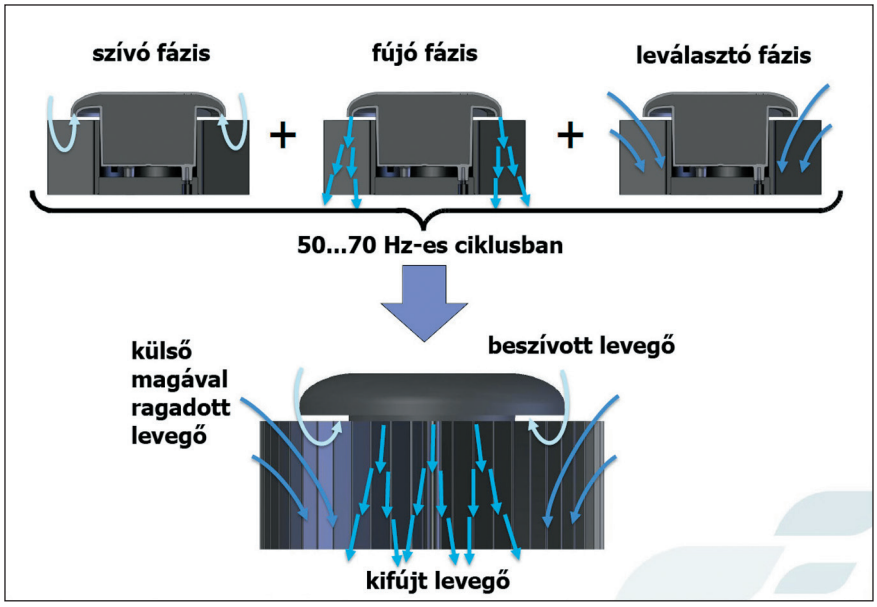
A SynJet elvet a **12. ábrasor** magyarázza. Az *1 képen* látható a miniatűr méretű nyomástér, amelyben levő levegőt a membrán felfelé mozogva kiprésel a fúvókán. Ezt a turnbulens áramlást mutatja a *2 kép*. A *3 kép* a levegőipulzust mutatja, amely magával ragadja a környezeti levegőrészecskéket, célszerűen a hűtendő alkatrész hűtőbordája által felmelegített levegőt, nagy sebességével kisöpörve azt. Ez a légsebesség mintegy ötször nagyobb, mint egy szokványos ventilátorral előállítható sebesség, így érthető módon a hűtés hatásfoka is többszörös. A *4 kép* ezt a kisöprési műveletet mutatja, az *5 kép* pedig az impulzus végét. A szívóhatás következtében a nyomástér újra töltődik, (*6 kép*), majd a következő ciklus indul.

A hűtőmodul működési elvét a **13. ábra** mutatja. A membrán szívó fázisában levegőt szív be a külső térből, majd a kompressziós fázisban mikrofúvókákon átpréseli. A nagysebességű levegő turbulens áramlása a hűtőbordák között folyik, magával ragadva külső levegőrészeket. A hűtőegység élettartamára a félvezetős készülékekre jellemző élettartamot, vagy nagyobbat adnak meg, bár megjegyezzük, hogy ezt is elektronika hajtja meg.

A gyártó LED-es világítóeszözök céljára egy sor hűtőegységet alakított ki, a fejlesztés során alkalmasint válogatni lehet a típusokból, de minden egyéb helyen is alkalmazható. Jellegzetes konstrukció, hogy az akár több cm átmérőjű LED-tömbáramkört hengeres kialakítású hűtőtönkre szerelik, amelynek külső hűtőbordáit hűteni kell. A hűtőtönk hengeres belsejében elfér a LED meghajtó és a SynJet hűtőmodul áramforrása. A modulokból összeállítható hűtőegység képét a **14. ábra** mutatja. (**14.a ábra**: a légfúvó egység szerelt elektronikával; **14.b ábra**: komplett hűtőmodul; **14.c ábra**: hűtőborda.)

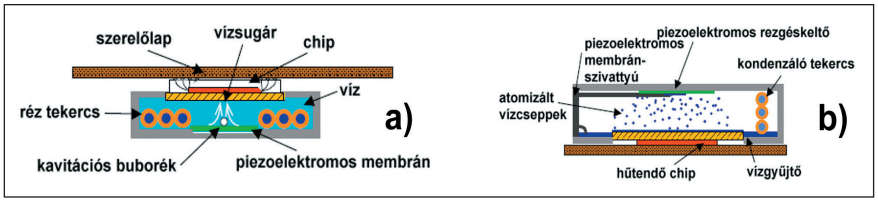


14. ábra



15. ábra

A speciális hűtőborda egyik felére a LED lapkát lehet beépíteni hővezető szereléssel (pl. TIM fólia), a másik felére elhelyezhető a meghajtó tápegység elektronikája, és csatlakozik az a) ábra légfúvó egysége. A légfúvó egység által keltett levegőáramlást a b) ábrán látható sapka-rész megfordítja, és a hűtőborda bordái közé irányítja. A nagysebességű turbulens légáramlás a külső levegőrészecskéket is magával ragadja, jelentősen, mintegy ötszörösére javítva a hűtőhatást. A komplett hűtőmechanizmus működési elvet a **15. ábra** mutatja.



16. ábra

A SynJet hűtőegységek az elektronika számtalan területén használatosak, ahol teljesítmény-eszközök veszteségi hőt disszipálnak. A membránhőszivattyús rendszert a cég folyadékos hűtőkben is alkalmazza. Nagyfelületű szilíciumcsipek (pl. processzorok) hűtésére dolgozták ki a VIBE és VIDA hőtranszfer-modult, de teljesítmény LED-ek hűtésére is előnyösen használható. Működésüket a **16. ábra** szemlélteti.

A VIBE hőtranszfer-modul (Vibration-Induced Bubble Erection) egy kisméretű gőzkamra, amelyben egy piezoelektromos membrán víztérben kavitációs légbuborékot hajt a hűtőfelületre, a VIDA rendszernél (Vibration-Induced Droplet Atomization) pedig légtérben molekulányi méretre porlasztott folyadékcseppekkel fejt ki hűtőhatást.

– Peltier-elemes hűtés

A másik fizikai hűtési módszer a Seebeck effektuson alapul. Seebeck (1822) és Peltier (1834) felismerése korszerű félvezetős, szilárdtest-felépítésű energiatermelő- és hűtőelemek készítését tette lehetővé. A folyamatokat a **17. ábrán** látható elrendezés mutatja. (Talán helyesebb lenne „hőtelepkről” beszélni, hiszen egy-egy ilyen modul számos hőelem soros kapcsolásából áll.)

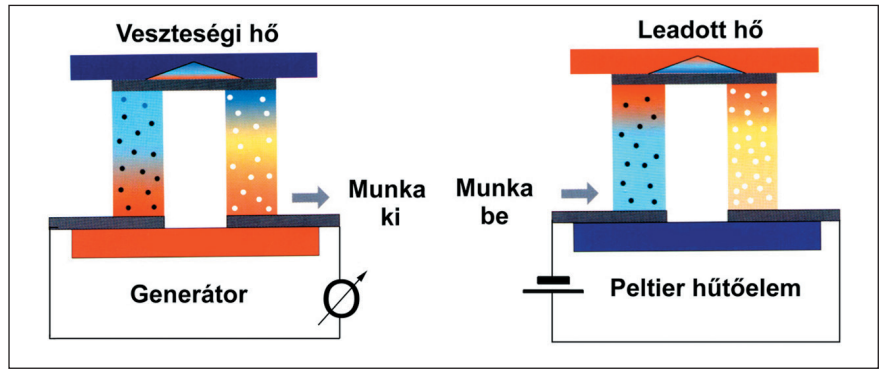
Seebeck szerint alkalmasan megválasztott fémpár összehegesztési pontját melegítve termofeszültség keletkezik, amely arányos a hőmérsékletkülönbséggel és a Seebeck együtthatóval. Ezzel a hőenergiát közvetlenül villamos energiává alakíthatjuk, bár a hatásfok kicsi, energiatermelésre nem használják. A fizikai folyamat nagy linearitása miatt azonban a méréstechnikában elterjedt, ezek a termoelemes, vagy termokeresztes hőmérsékletérzékelők.

A folyamat megfordítva is működik: az eszközön átfolyatott elektromos áram az egyik oldalt felmelegíti, a másikat lehűti. A fűtő-hűtő effektus arányos az árammal és a Peltier együtthatóval. A kutatások kimutatták, hogy a legnagyobb hatásfoka (nagy Peltier együtthatója) a speciális félvezető pn átmeneteknek van. A cikkben ez utóbbiakról írunk.

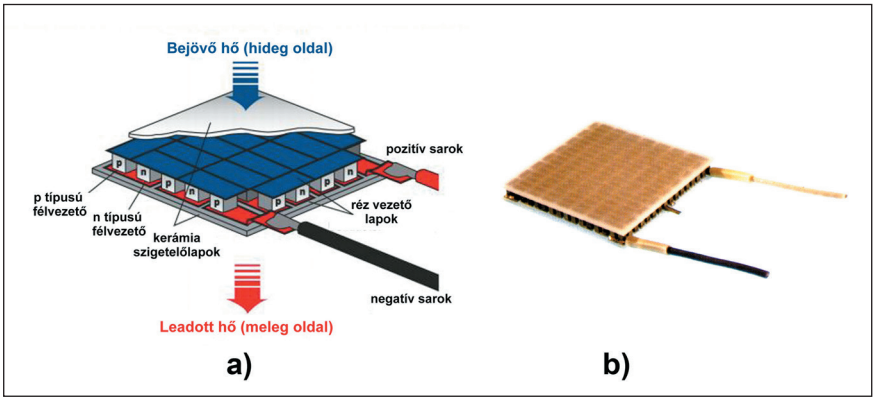
A Peltier hűtőelem – vagyis inkább hűtőtelep – bizmut-tellurid félvezető cellákból épül fel. Egy cella feszültsége tized volt nagyságrendű. A gyakorlatban a cellákat sorba kapcsolják, többnyire 5 V-os, 12 V-os és 24 V-os tápfeszültségre.

A speciális *p* és *n* típusú félvezetőtömbökből felépített Peltier elemek egyik vége az átfolyó áram hatására felmelegszik, a másik vége lehűl. Az ilyen elven felépített panel hideg felületét a hőforrással kell hőcsatolásba hozni, a másik felületére pedig hűtőbordát kell szerelni. A Peltier hűtő felépítését a **18. ábra** mutatja.

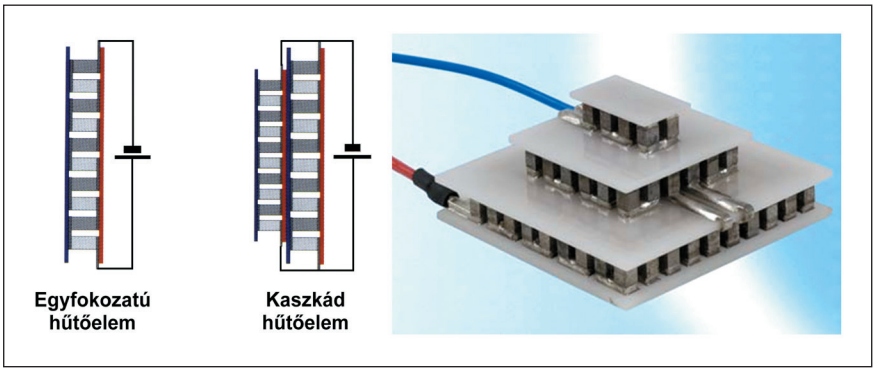
A bizmut-tellurid hűtőelem 80 °C-ig működőképes. Félvezető alkatrészeket nem is célszerű ennél magasabb hőmérsékleten üzemeltetni. A gyakorlat-



17. ábra



18. ábra



19. ábra

ban a hideg és a meleg oldal között 70 °C hőmérsékletkülönbség érhető el. Az irodalmi adatok szerint egyetlen szendvics (emelet) max. 20 °C-os különbséget tud létesíteni. Ha ennél nagyobb $\Delta\vartheta$ hőmérsékletkülönbségre van szükség, két, vagy több elemet kaszkádba kell kapcsolni, gondoskodva az elemek közötti jó hőátadásról. n számú kaszkádba kapcsolt elemmel átvitt hűtőteljesítmény a hideg oldalon a következő képlettel számítható:

$$P_h = 2 \cdot n \cdot \left[\alpha \cdot I \cdot \vartheta_c - \frac{I^2 \cdot \rho}{2 \cdot G} - k_h \cdot \Delta\vartheta \cdot G \right], \quad (12)$$

ahol α a Seebeck együttható [V/K]-ben, ρ a fajlagos ellenállás [Ω·cm]-ben, a k_{th} a hűtőelemre jellemző arányossági tényező, G pedig a hűtőelem felület/hossz aránya [cm]-ben (katalógusadatok).

Egy, két, és háromemeletes hűtőmodul képét mutatja a **19. ábra**. Arra kell ügyelni, hogy a felületet egyre jobban növelni kell a jó hőátadás érdekében.

A termoelektromos modul vagy termooszlop elektromosan sorba kapcsolt termoelemek csoportja. Az elektromos áram a modulban egyik termoelemről a másikra folyik át, körben a rendszerben. Termikus szempontból a Peltier elemek kapcsolása párhuzamos, mivel mindegyik elemen egyszerre áramlik át a hő a modulban, a felső lemezről az alsó lemez felé. A $\Delta\vartheta$ hőmérsékletkülönbség tehát a felső és az alsó lemezek között alakul ki, amelyet egyrészt a termoelemeken átfolyó áramerősség nagysága, másrészt az eszközön átvitt hőmennyiség befolyásol.

A termoelektromos hűtési teljesítmény legalapvetőbb reprezentá

ciós formája a terhelési görbe (lásd **20. ábra**). A terhelési görbe egy adott TEC eszköz meghajtási áramához tartozó, $\Delta\vartheta$ és $Q_{átpumpált}$ (átpumpált hőmennyiség) lehetőségeket ábrázolja. A modul maximális meghajtási áramánál a terhelési görbét két paraméterből generálják: egyszer az eszköz által pumpálható maximális teljesítményből, a Q_{max}-ból, másrészt az eszköz felső és alsó lemezei között fenntartható, maximális hőmérsékletkülönbségből, $\Delta\vartheta_{max}$-ból. A $\Delta\vartheta_{max}$ értékét külső hőterhelés nélküli állapotban (zérus értékű Q) veszik fel, és kifejezhető a következő egyenletből:

$$Q_{max} = \frac{\alpha^2 \cdot \vartheta_c^2}{2 \cdot R} = \frac{A \cdot \alpha^2 \cdot \vartheta_c^2}{2 \cdot \rho \cdot L}, \quad (13)$$

ahol α a Seebeck-állandó, A az eszköz felülete, ρ az elektromos fajlagos ellenállás, ϑ_c a hidegoldali hőmérséklet, L a termoelektromos anyag hosszúsága (vastagsága), R pedig az ellenállás.

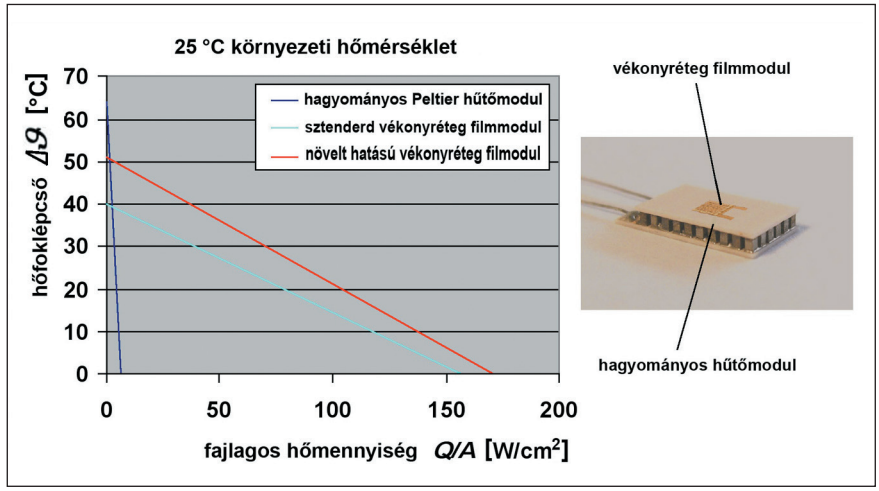
Másrészről Q_{max} úgy is kifejezhető, ha nincs hőmérsékletkülönbség a felső és az alsó lemez között:

$$\Delta\vartheta_{max} = \frac{\alpha^2 \cdot \vartheta_c^2}{2 \cdot K \cdot R} = \frac{A \cdot \alpha^2 \cdot \vartheta_c^2}{2 \cdot \kappa \cdot \rho}, \quad (14)$$

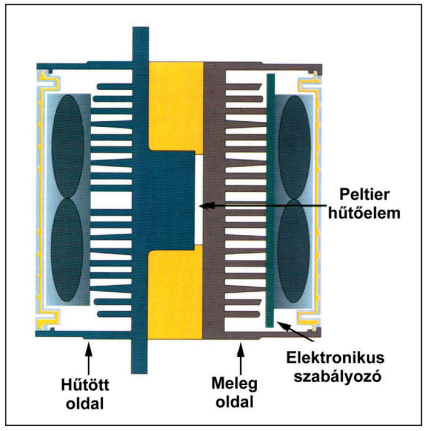
ahol κ a fajlagos termikus vezetés, és K a termikus vezetés.

A két paraméter grafikus ábrázolása a **20. ábrán** látható ($\Delta\vartheta_{max|Q=0}$ ill. $Q_{max|\Delta\vartheta=0}$ feltételek esetén). A grafikonon megjelenő terhelési görbe köti össze a két pontot, lehetőséget adva a Peltier hűtőeszköz teljesítményének felméréséhez.

A Peltier hűtőelemek alkalmazása több gondosságot igényel, mint egy

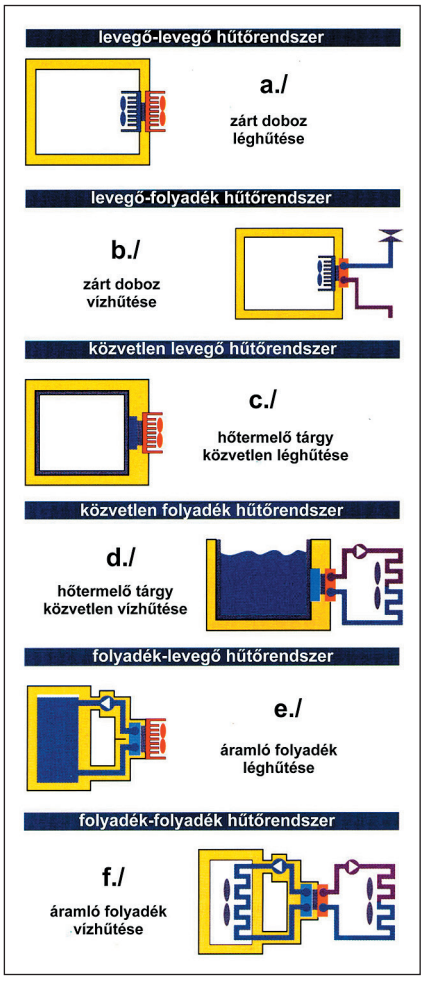


20. ábra



21. ábra

készülék mechanikai felépítése, dobozolása. Fokozott figyelmet kell fordítani az átmeneti hőellenállásra, a hűtés megfelelő hőcsatolására, a keletkezett hőmennyiség eldisszipálására, stb. Ezért a gyártócégek többnyire mechanikai szerelvényekkel, hűtőbordákkal, ventilátorokkal felszerelt modulokat hoznak forgalomba, levéve a gondot a készülékkonstruktőrök válláról. A **21. ábrán** láthatjuk a svéd Supercool AB cég hűtőmoduljának vázlatos felépítését.



22. ábra

A hűtendő rendszer milyenségétől, és a hűtőközegtől függően hatféle hűtési elrendezés építhető fel. Ezeket a **22. ábrán** tanulmányozhatjuk.

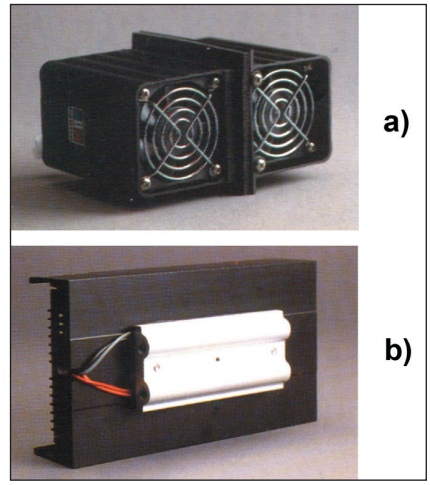
Dobozba zárt elektronikai készülékeinket a **23.a ábra** elrendezése szerint hűthetjük. A **23.b ábrán** látható Supercool elem például 10 l-es dobozolt szerkezetet képes hűteni.

Ventilátorra természetesen nincs mindig szükség, ha a környezet levegőáramlása elegendő a hő elszállítására, akkor ezt a mozgó alkatrészt mellőzhetjük. Ha viszont használunk, akkor feltétlenül kefe nélküli, elektronikus kommutálású, korszerű golyóscsapágyas ventilátort alkalmazzunk, amelynek élettartama 30 000…70 000 óra, esetleg MagLev csapágyazású.

A Peltier hűtőelemek – villamos működtetésüknek köszönhetően – jól vezérelhetők, szabályozhatók. Mikroelektronikai csipekre építve, vagy akár csipekbe integrálva, a kellő hűtés az átfolyatott áram erősségével szabályozható, így akár csipméretű precíziós termosztát is készíthető. Egyszerűbb esetekben az áteresztő tranzisztoros analóg szabályozó használható, a nagyobb hatásfok érdekében azonban kapcsolóüzemű (impulzusszélesség-szabályozott) tápegységek szükségesek. Termosztátos üzemmódban szükség lehet a melegítésre is. Tudvalevő, hogy a Peltier elemen megfordítva a feszültség polaritását, fűtőelemhez jutunk. A szabályozó automatikusan is képes polaritást váltani, azaz hűtésből fűtésre kapcsolni, illetve vissza.

A hagyományos Peltier hűtőmodulokkal szerelt hűtőkkel hatékony hűtés érhető el, de mérete eléggé tetemes a modern mikroáramkörös rendszerekhez, a szerelés munkaigénye is jelentős. Ide is betört hát az új technológia, integrálási technológiával beágyazott hűtés valósítható meg. Az első vékonyréteg technológiával előállított Peltier elemet az amerikai Nextreme Thermal Solutions cég hozta ki még 2007-ben, cégfelvásárlások után ma a Laird honlapján találkozhatunk a megoldásokkal [13], [14].

A vékonyréteges termoelektromos anyagok a hagyományos félvezető-adagolási módszerekkel növeszthetők, az eszközök pedig hagyományos félvezető mikro-gyártási eljárásokkal gyárthatók. A hagyományos eszközökhöz képest az így előállított



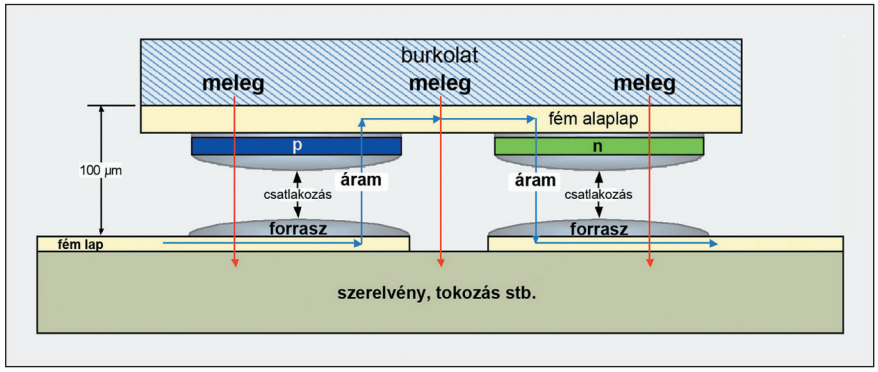
23. ábra

termoelektromos eszközök lényegesen kisebbek, a lehetőség a modern gyártástechnológiával történő integrálásra szó szerint adja magát.

A 20. ábra jobb oldalán egy hagyományos, az ún. „bulk” TEC (ThermoElectric Cooling) és egy vékonyréteges TEC összehasonlítását láthatjuk. Az ábra tanúsága szerint a vékonyréteges TEC x-y méreteiben kb. 6-szor, z-irányú méretében pedig 18-szor kisebb. Ez eredőben azt adja, hogy a bulk TEC-hez képest a vékonyréteges változat 108-szor kisebb térfogatú.

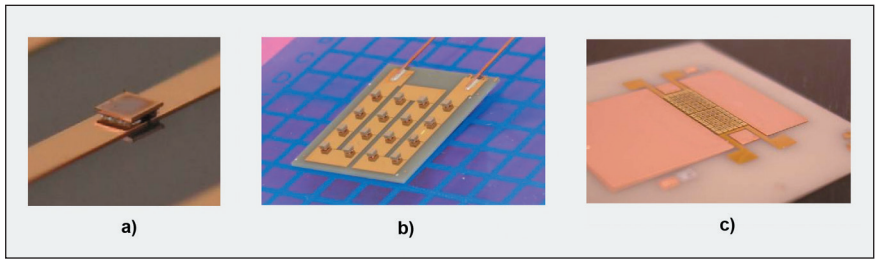
Jóllehet $\Delta\vartheta_{max}$ az anyagvastagságtól elméletben nem függ, Q_{max} a vastagsággal (L) fordítottan arányos, az anyag vékonyodásával tehát jelentősen növekedik. A vékonyréteges TEC-ek anyagvastagsága jellemzően 10 … 20 µm, amely kivételes nagyságú hőáramlást és csekély termikus ellenállást tesz lehetővé. Ez azt jelenti, hogy a vékonyréteges TEC-ek a hagyományos termoelektromos modulokhoz képest sokkal nagyobb teljesítménysűrűséggel is képesek megbirkózni. A 20. ábra alapján ez magától értetődő, hiszen az ábra tanúsága szerint a vékonyréteges megvalósítással 30-szor nagyobb teljesítménysűrűség kezelhető. Bár a $\Delta\vartheta$ nagysága a vékonyréteges kivitelben valamivel valóban alacsonyabb, mint a bulk TEC-eknél, egyetlen TEC sem képes a maximális áramterhelést szimbolizáló görbéjétől jobbra eső területen működni. Ebből az következik, hogy a vékonyréteges TEC-ek képesek megfelelni a nagy teljesítménysűrűségű alkalmazásokhoz is.

A vékonyréteg-alapú TEC-eket úgy gyártják, hogy n- és p-típusú anyagot fémből készült al-hordozóra



24. ábra

visznek fel. Ezután a vékonyréteges termoelem forraszgömbözéssel hozzáilleszthető a szerelvényhez, bármilyen hordozóhoz, amelyen izolált fémes felületek vannak (**24. ábra**). A termoelemek helyes megválasztásával az eszköz tokozásának magassága legfeljebb 100 µm-nal nőhet.



25. ábra

Ezzel a felületszerelési eljárással kialakított, nagyon kisméretű, szilárdtest hűtési megoldások közvetlenül az eszközök tokozásába is szerelhetők, egyedi hűtést biztosítva a tokba integrált elektromos eszközök számára. A **25.a ábra** izolált fémcsíkra bondolt termoelemet mutat, a **25.b ábrán** 16 darab termoelem látható, a **25.c ábrán** pedig 84 db vékonyréteges, 100 µm-es rézbe ágyazott termoelemet láthatunk.

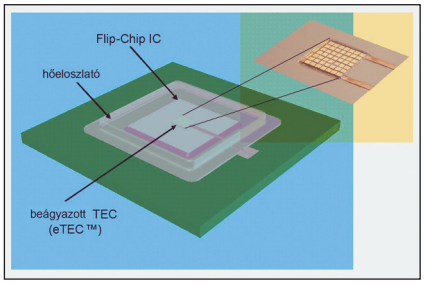
A termoelektromos eszközök egyik hátránya, hogy a hűtéshez elektromos teljesítményre van szükségük. A TEC-ek által felvett teljesítmény növeli az egyébként elviendő hőmennyiséget, így rendszerszinten végeredményben TEC alkalmazásával nagyobb lesz az elszállítandó hőmennyiség, mint alkalmazása nélkül.

A TEC-ek teljesítményének felmérésénél hasznos a COP (Coefficient of Performance) jelölésű teljesítmény koefficiens kiszámítása az egyenlet szerint:

$$COP = \frac{Q_{átpumpált}}{P_{be}} \cdot \qquad (15)$$

A TEC tehát nemcsak a Q, hanem a P_{be} hőmennyiséget is kénytelen elvonni. Éppen ezért a bulk TEC-eket gyakran plusz hőelvonó megoldással (pl. ventilátor, hűtőborda, hűtőcső stb.) értékesítik. A TEC előnye ebben az esetben az, hogy aktív hőmérsékletvezérlésre és a hozzáillesztett rendszer környezetinél alacsonyabb hőmérsékletre hűtésére képes, cserében azonban növeli a teljes rendszer által termelt hőmennyiséget.

A vékonyréteges TEC nagy előnye, hogy egyszerűen integrálható az eszközökre, vagy az eszközök tokozásán belülre, viszont járulékos hűtőalkalmatosság hozzáadásával a megoldás értelmét vesztené. Ennek elkerülésére különösen oda kell figyelni az eszköz tervezése során a termikus disszipációra. A plusz ráfordítás azonban busásan megtérül a terméktervezésben, majd a késztermékben. Illusztrációként két alkalmazási példát tekintünk át.



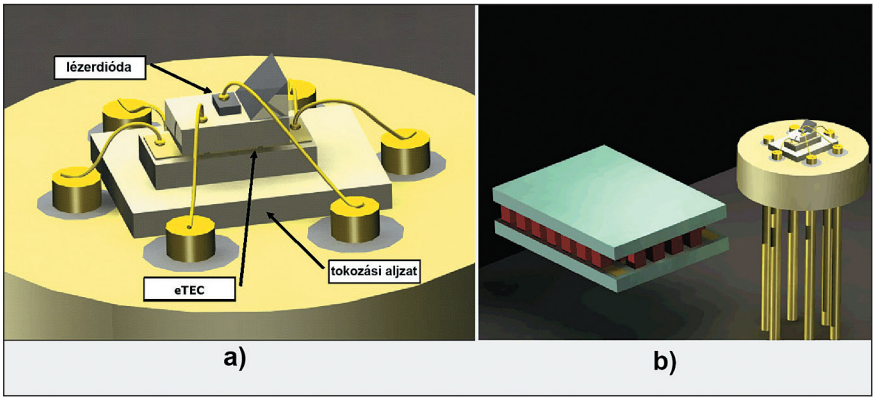
26. ábra

Az egyre nagyobb órajelsebességű és egyre több és komplexebb integrált alrendszert tartalmazó integrált áramköröknél a hőelvonás egyre nagyobb kihívást jelent. Az elektronikai ipar igyekezett innovatív megoldássokkal a probléma megoldására sietni, így egyre újabb és jobb hűtőbordák, ventilátorok, hőcsövek, termikus határfelületi anyagok stb. születtek meg, amelyek mind ugyanazt a célt, az IC-k hatékonyabb hűtését szolgálták. A nanoelektronika (amely a 32 nm-es csíkszélesség kapuit döngeti) rohamos terjedésével azonban egyre kisebb területekre koncentrálódik a hőáramlás. Ezeken a kis területeken lokalizáltan akkora hőmennyiség keletkezik, amely az átlagos IC chip hőmérsékletnél jóval magasabb hőmérsékletet eredményez, jelentős megszorításokra kényszerítve a tervezőket.

Kifizetődő megoldás, ha ezeket a melegpontokat az IC tokozáson belül vékonyréteges TEC-kel látják el (**26. ábra**). A beágyazott vékonyréteges termoelektromos hűtőt eTEC-nek nevezhetjük (Embedded ThermoElectric Cooler), és a rézből készült hőeloszlató fedélbe integrálják, így közvetlen közelségből hűti a forrópontot. A **26. ábrán** látható a hőoszlatóba ágyazott eTEC, amely forró oldalát forraszgömbökkel rögzítik a hőeloszlatón kialakított passzivált felületre. Az IC chip és a TEC között a hőátadást speciális határfelületi anyaggal segítik.

A demonstrációs alkalmazásban egy 3,5×3,5 mm-es eTEC-kel hűtöttek egy 2 W-os melepontot. A csip háttérteljesítménye 60 W volt, a teljes teljesítmény így 62 W-ot tett ki. A szilícium felületén a melegpontnál 1250 W/cm^2 volt a teljesítménysűrűség, az eTEC-et közvetlenül a melegpont fölé helyezték. A későbbi, **28. ábra** tanúsága szerint így nagyobb, mint 10 °C-os hűtést valósítottak meg.

Másik demonstrációs példánk egy lézerdióda hűtése. A lézerdiódák már a kezdetek óta nagy érdeklődésre tartanak számot a termoelektromos hűtés fejlesztői részéről, mivel a lézerdióda teljesítménye szempontjából a precíz hőmérsékletszabályozás elengedhetetlen. A lézerdiódás alkalmazásoknál is a kisebb, integráltabb és olcsóbb, nagysorozatú gyártást támogató struktúrák felé mozdultak el a tervezők. Emiatt a TEC-ek integrálása egyre több gondot okozott, mivel a hagyományos bulk



27. ábra

TEC-ekkel hatékonyan nem lehet kielégíteni e követelményeket.

A **27. ábrán** egy TO-56 típusú tokozásba szerelt lézerdióda látható a bal oldalon. Az ábra jobb oldalán a lézerdióda mellett egy bulk TEC látható, amely szemmel láthatólag túl nagy, és emellett a kelleténél kisebb is a teljesítménye, az adott lézerdiódás alkalmazásban nem használható. Például egy kisteljesítményű lézerdióda mindössze 0,09 W teljesítményt generál, a dióda mérete azonban mindössze kb. 300×200 µm. Kis fejszámolás után arra az eredményre juthatunk, hogy ez bizony kb. 150 W/cm^2 teljesítménysűrűséget jelent. Még ha 30-szoros hőoszlatási tényezővel is számolunk (5 W/cm^2), akkor is kívül esik ez a specifikáció egy bulk TEC tipikus működési tartományából, különösen, ha a tokozás méretét is hozzávesszük.

A **20. ábrán** mutatott terhelési vonal alapján megállapíthatjuk, hogy egy nyolc termoelemes, 2×1,5×1,35 mm-es eTEC képes $\Delta\vartheta = 25$ °C és COP = 0,35 feltételekkel 0,15 W (5 W/cm^2) teljesítmény átpumpálására. A lézerdióda és az eTEC közötti hőoszlató anyag miatt $\Delta\vartheta$ valóságos értéke kb. 15 °C lesz. Jobb anyagok felhasználásával a $\Delta\vartheta$ azonban 30…35 °C-ra is növelhető, amely a lézerdióda hőmérsékletében közvetlenül 5…10 °C javulásban jelentkezik.

– Magnetokalorikus hűtés

Hűtés megvalósítható mágneses elven is, amely az ún. magnetokalorikus hatáson alapul. Egyes anyagok felmelegednek, ha mágneses térbe helyezik őket, és lehűlnek, ha megszűnik a mágneses hatás. A jelenség a mágneses momentumok (spin) irányítottságának hőfokfüggésén alapul. Az anyag belső entrópiája, vagyis a domének rendezettsége szoros kapcsolatban áll a hőmérséklettel, a legerőteljesebb módon egyes fémötvözeteknél, a Curie-pontjuk közelében, amikor erre a hőfokra melegítve a ferromágneses anyagok elvesztik ferromágneses tulajdonságaikat, és paramágnesessé válnak. A magnetokalorikus hatás az általánosan használt anyagoknál elenyészően kicsi, néhány ritkaföldfémnél azonban mérhető. A magnetokalorikus hatás felfedezése *Emil Warburg* német fizikus nevéhez fűződik, aki 1881-ben kimutatta, hogy bizonyos anyagok felmelegednek, ha mágneses térbe helyezik őket, illetve lehűlnek, ha megszűnik a mágneses hatás. Az első anyag, amellyel a hatás mérhető eredményt mutatott, a gadolínium volt, Gd vegyület formájában. A jelenséget a **28. ábra** alapján érthetjük meg.

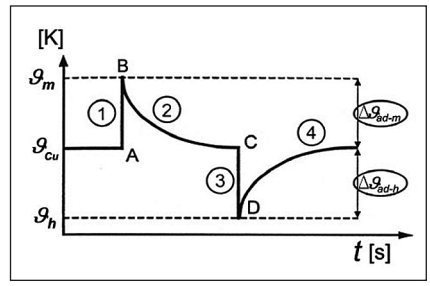
A folyamat négy ütemben megy végbe. Az első ütemben az anyagot erős mágneses térnek tesszük ki (*A*-ról *B* pontra), amelynek hőmérséklete (szobahőmérséklet-közeli) Curie-pontjáról ϑ_m (meleg) hőmérsékletre növekszik. A második ütemben a környezeti hőmérsékletre visszahűtjük, például folyadékhűtéssel (*B*-ről *C* pontra), majd a harmadik ütem során a mágneses teret megszűntetjük (*C*-ről *D* pontra), amelynek során az anyag ϑ_h (hideg) hőmérsékletre hűl, amelyet kellő hőcsatolással a hűtendő folyamatban hasznosítunk. A két adiabatikus hőmérsékletesés az időben megy végbe, A $\Delta\vartheta_{ad\text{-}m}$ hőmérsékletnövekedést (pl. hővezető csővel) el kell szállítani, ki kell vonni a rendszerből, a $\Delta\vartheta_{ad\text{-}h}$ hőmérsékletesést, mint hűtőhatást lehet a folyamatban hasznosítani (pl. a hűtőbordát hűteni).

Hűtésre 1930 óta használják a jelenséget, az akkor rendelkezésre álló anyagok tulajdonságai miatt főleg a mélyhűtéses technikában. Általában a különböző más módszerekkel az abszolút nulla fok közelébe, vagyis –273 °C körüli hőmérsékletre lehűtött mintákat hűtötték tovább ezzel a módszerrel a néhány század vagy néhány ezred kelvines hőmérséklet elérése céljából.

A magnetokalorikus hűtés lényege a mágneses tér változása. A mágneses teret elő lehet állítani permanens mágnessel és elektromágnessel. Az előbbivel könnyebb nagyobb térerősséget elérni (néhány T nagyságrendben), de változtatása mechanikai mozgást, precíz mechanikát igényel, kicsi az esély, hogy a hosszú élettartamú elektronikai készülékeknél versenyképes megoldás lenne egy mozgó alkatrészeket tartalmazó hűtés. Elektromágnes gerjesztése elektronikai eszközökkel megoldható, de a gerjesztésre fordított energia csökkenti a hatásfokot, mégis ez látszik járhatóbb útnak, főként nagy teljesítményeknél (pl. közvilágításban). A piacképes magnetokalorikus hűtés azonban a megfelelő anyag kidolgozásán múlik, a kutatások ez irányban folynak. A gadolíniummal, mint természetes (bár ritka) földfémmel 6 °C hőmérsékletcsökkenést lehet elérni, ami kevesebb, mint a fele az elméletileg elérhető 15 °C-nak.

Az új anyagok érezhetően nem elemek lesznek, ezeket már végigpróbálták a kutatók, ígéretesnek az ötvözetek mutatkoznak. Amerikai kutatók a gadolínium germániummal, szilíciummal, galliummal alkotott ötvözetek irányában dolgoznak, míg Európában előnyben részesítik a mangán-ötvözeteket vas, foszfor és arzén ötvözésével (Mn-Fe-P-As). Ezekkel szintén szobahőmérsékletről indítva a hűtést már 2…3 T nagyságú mágneses térrel is jó hűtési eredményeket tudtak elérni.

További elemeket is bevontak az ötvözők körébe, így nikkelt (Ni), praseodímiumot (Pr), stronciumot (Sr) és antimont (Sb). Az egyes ötvözők arányának változtatásával el lehet tolni azt a hőmérsékletet, ahol a legerőteljesebb a magnetokalorikus hatás,



28. ábra

így a leghatékonyabb a hűtés, vagy éppen fűtés. Így minden gyakorlati alkalmazáshoz ki lehet választani az optimális ötvözetet, sőt kaszkád-jellegű elrendezéseknél minden fokozathoz más optimális anyag rendelhető. Gyakorlati megvalósításról azonban egyenlőre nem nagyon számol be a szakirodalom.

– Folyadékhűtés

Nagyobb hőtermelő berendezések (pl. inverteres hajtások, energiaelosztók, fázisjavítók) intenzív hűtőrendszert kívánnak. Erre a célra folyadékos hűtőrendszert gyárt az ipar, amelyet nem a készülék alkatrészei közé építenek be, hanem önálló készülékbe, és ezt csőrendszerrel kötik össze a hűtendő berendezéssel. Ezek bemutatása nem célunk ebben a cikkben, pusztán a rendszertechnika miatt említjük. Ilyen pl. a Rittal Blue e+ chiller berendezése, amely kitűnik nagyon jó hatásfokával [15].

4. Összegzés

Az elektronikai készülékek hűtése alapvető konstrukciós kérdés, ma már szinte minden számítógépes tervezőrendszer képes termikus szimuláció végzésére. Cikkünkben összefoglaltuk a hűtésre manapság használatos technológiákat, bár a kutatások-fejlesztések állandóan folynak, és a szakirodalom az elért eredményekről beszámol, érdemes figyelni.

Irodalomjegyzék

1. www.micred.com/teraled
2. http://www.laird-plc.com/laird/about/
3. www.bergquistcompany.com
4. http://www.henkel.com/fullproductlist-electronics.htm?redDotUID=000001F60S
5. http://www.hernon.com/
6. http://www.thermacore-europe.com/
7. www.kerafol.com
8. www.fischerelektronik.de
9. www.coolpolymers.com
10. http://www.idemitsu-chemicals.de/18-0-polyphenylene-sulphide-pps.html
11. Hővezető polimerek előállítása és vizsgálata. BME Polimertechnika Tanszék. Tanulmány. Dr. Kovács József Gábor, Suplicz András. 2011
12. www.aavid.thermalloy.llc.com
13. www.nextreme.com
14. https://www.lairdthermal.com/
15. www.rittal.hu

HP–990B In-circuit • SMD R-C-D mérő • 3¾ digites kijelzés

R-mérés 40 Mohm-ig C-mérés 200 mikroF-ig
D-mérés kapocsfeszültség-kijelzéssel
Relatívérték-mérés Aut. tápfesz. kikapcsolás

HAM-bazár Ára: 6.990 Ft 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Bpest., Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu 1

MOTOROLA Talkabout T82 Extreme Quad

munkához – oktatáshoz – hobbihoz – kiránduláshoz – sporthoz

Engedély- és díjmentesen használható!

- 4 db PMR adó-vevő
- 4 db akku, töltő
- 4 db headset
- Ütésálló műanyag hordtáska
+ 2 db

csak 51.990 Ft

- CTCSS + DCS kódok
- VOX üzemmód
- Dual scan üzem
- Csoport mód
- Hívóhangok
- Vibra hívásjelzés

Most 2 db DMM is jár hozzá! – Csak amíg a készlet tart!

HAM-bazár 1138 Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em., folyosóközép H–P. 09–14 ó., Cs. 09-17 ó.
(+36 1) 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Budapest, Pf. 123.
www.radiotechnika.hu www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu 6

Rittal – The System.

Faster – better – everywhere.

Blue e+ chiller

A világ leghatékonyabb folyadékhűtése.

Rugalmas - Világszerte használható a többféle bemeneti feszültség és a -5°C és +50°C közötti széles hőmérséklettartomány miatt
Megbízható - A komponensek hosszabb szerviz-élettartama és magas vezérlési pontosság
Felhasználóbarát – Érintőképernyő és intelligens felületek támogatják az interaktív üzemeltetést
Hatékony – Akár 70% energiamegtakarítás a hagyományos folyadékhűtőkhöz képest

KAPCSOLÓSZEKRÉNYEK | ÁRAMELOSZTÁS | KLIMATIZÁLÁS | IT MEGOLDÁSOK | SZOFTVER ÉS SZERVIZ

FRIEDHELM LOH GROUP

www.rittal.hu

RITTAL

Inverteres hegesztőből precíziós tápegység

Vörös Tamás tanár, voros.tamas@x-1.hu

27 évvel ezelőtt egy elektronikával ismerkedő elsőéves gimnazista meglátott egy cikket az akkor még szintén fiatal Hobby Elektronika *újságban. Az 1993-as szeptemberi kiadás címlapján egy kísérletező tápegység szerepelt, amelynek annyiféle kimenete volt, hogy az elemekhez és az állítható walkman dugasztápokhoz szokott diák csak ámult, hogy ilyet is lehet… Elhatározta, neki is kell egy ilyen tápegység! Az álom néhány hónap alatt meg is valósult, sajnos nem teljesen a lapban közölt formában. A készülék még ma is működőképes, kétségtelen azonban, hogy eljárt felette az idő, de talán egyszer még egy most nyolcéves kisfiú kezdő tápegysége lehet, az a bizonyos újság pedig féltve őrzött kincs marad.*

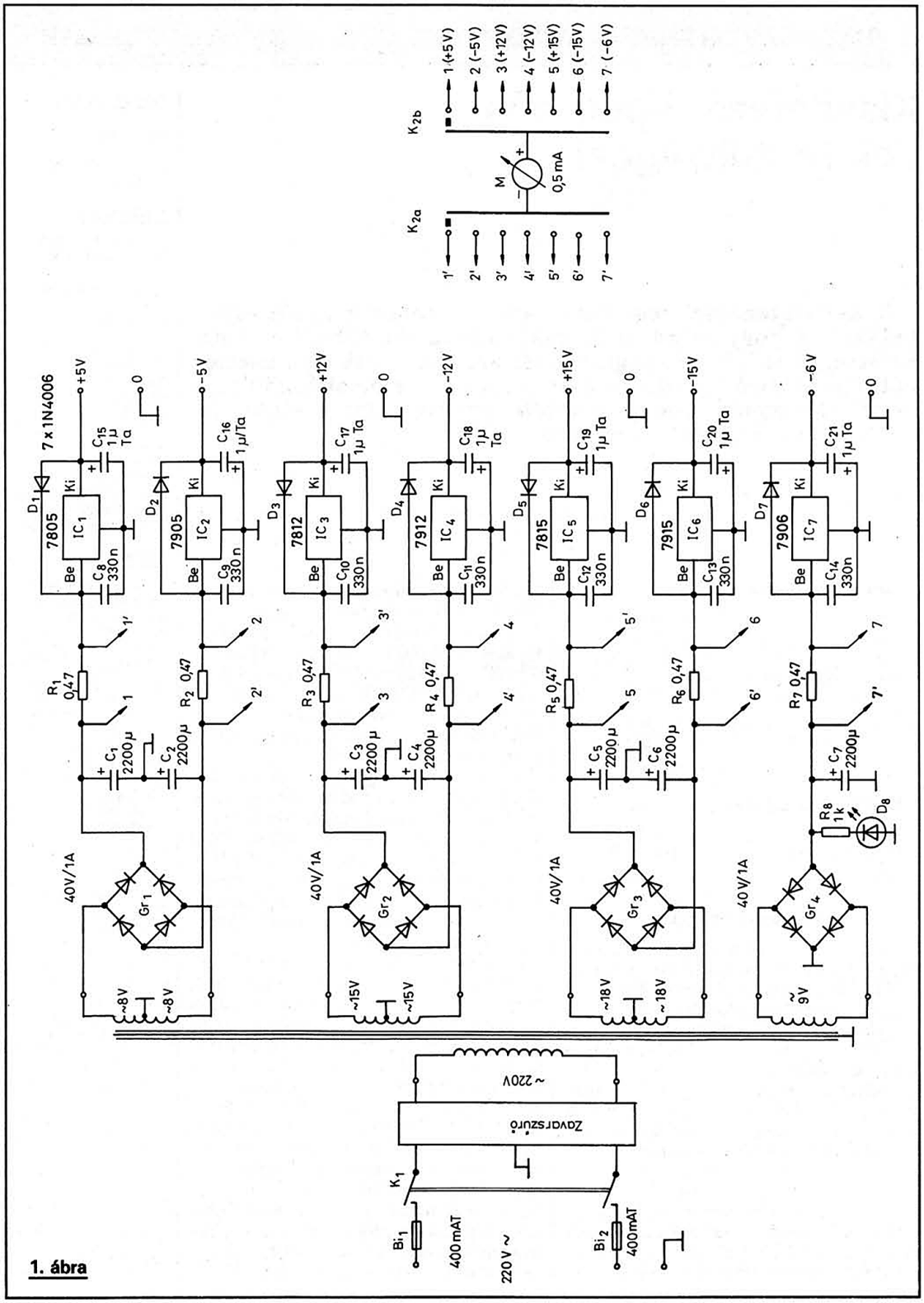
Lehet, hogy vannak a kedves Olvasók közt olyanok, akiknél már elkallódott a régi újság, vagy csak egyszerűen nincs meg. Kedvükért az **1. ábrán** felidézzük a borítót, a **2. ábrán** pedig az alapnak tekinthető eredeti kapcsolást. Modulonként tekintve, maga a kapcsolás nagyon egyszerű, a 78xx és a 79xx háromlábú, integrált stabilizátor-kockákon alapszik. A kimenetek rövidzár- és külső túlfeszültség ellen védettek, azaz általános felhasználás esetén gyakorlatilag tönkretehetetlenek. Az IC-k előtt a szokásos egyenirányító és puffertagokat találjuk. A 2200 uF-os szűrőelkók a már kapcsolóüzemhez szokott szemünknek kicsit nagynak tűnhetnek, de nincs mese, 100 Hz-en kellenek ekkorák. A graetz-kockákat a hálózati transzformátor táplálja, a disszipáció csökkentése és az energiatakarékosság jegyében minden kimenetpárhoz külön szekunder tekercsről. Ezzel meg is érkeztünk a fő mumushoz, a transzformátorhoz. Pár éve egy „szakmai”-baráti összejövetelen meg mertem kérdezni a jelenlevőket, hogy „Ki szeret trafót tekercselni?”. Mondanom sem kell, négyen kapásból rendkívül csúnyán néztek rám, a többiek jó része pedig italába mélyedve próbált tudomást sem venni a viccesnek szánt kérdésről. Végül arra jutottunk, hogy az ember általában nem szeret 50 Hz-es hálózati trafót tekercselni. Persze mindig akadnak önsanyargató természetű kivételek, akik még akár gépet is építenek vagy vesznek a művelethez. A tápegység építésekor, még régen, bontott hálózati trafókat használtam a tekercselés megúszására. Az 50 Hz-es trafó ráadásul a 100 VA körüli tartományban már elég súlyos darab, bár kétségtelen, hogy gondos méretezés és kivitelezés esetén hosszú életű és problémamentes.

Találkozás egy inverteres hegesztővel

Tavaly novemberben egy kéretlen iméles reklámban megláttam egy alsó kategóriás inverteres hegesztőt. 200 A-esnek mutatták a leírásban. 2 másodperc gondolkodás után már meg is vettem, „ha csak a felét tudja, mint ami rá van írva, tizennégyezer forintért akkor is megéri” felkiáltással. És így is lett . Tökéletes karácsonyi ajándéknak bizonyult magamnak. Nagylányom enyhyivel nyugtázta a vásárlásomat: „szép piros”. A **3. ábrán** látható jószágot rendeltetésszerűen használva a 2,5 mm-es elektróddal gyönyörűen lehet vele hegeszteni, de a 3,2-est már határozottan nem szereti, bár az adatlapja szerint mennie kellene azzal is. A munkaáram beállítása egyszerű, ráadásul kijelző is van hozzá. Jónak tűnt az elektródafogó és szép nagy a csipesz is hozzá. Vastagok a kábelek, üzem közben nem melegszenek, úgy tűnik nemcsak a szigetelés vastag, mint egyes áruház „gazdaságos” bikázókábeleknél. Összességében hobbi célra kiváló ár/érték arányt képvisel. Persze van rendes hegesztő készülékem is (védőgázas), így gondolataim azonnal akörül kezdtek járni, hogy a rendeltetésszerű haszná-

1. ábra

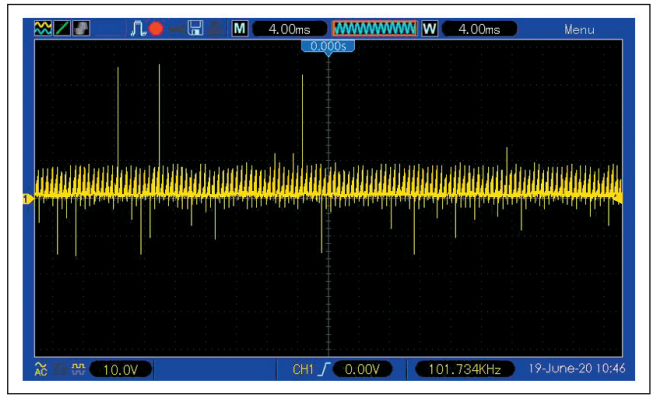
3. ábra


7 x 1N4006
7805
7905
7812
7912
7815
7915
7906
+5V
-5V
+12V
-12V
+15V
-15V
-6V
0
K2b
K2a
1 (+5 V)
2 (-5V)
3 (+12V)
4 (-12V)
5 (+15V)
6 (-15V)
7 (-6 V)
M
0,5 mA
40V/1A
~8V
~15V
~18V
~9V
~220V
Zavarószűrő
400mAT
220 V ~

1. ábra

2. ábra

4. ábra



5. ábra

lat helyett mihez fogok kezdeni az új szerzeménnyel. Nem szerettem volna azonnal szétcincálni, olyan csinos doboza van. Csak ne lenne olyan szörnyű piros…

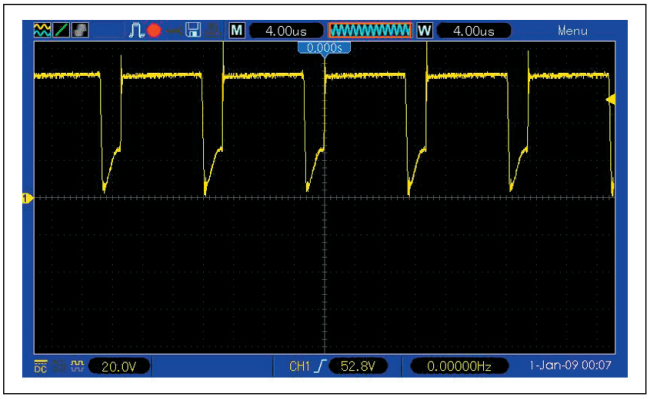
Nemrég vettem egy pici gázhűtésű AWI markolatot tartozékaival. Időközben lett hozzá néhány wolframelektród, és persze egy kellemesen nehéz argon palack is. Hát itt az ideje megtanulni rozsdamentes/saválló acélt meg vörösrezet hegeszteni. Vagyis csak lett volna, mert az AWI kábel dugója nem illeszkedett a hegesztő aljzatba. Kell egy (pár) olyan csatlakozódugó, ami a hegesztőhöz való! Körbenéztem néhány online hegesztőboltban. Az árak láttán elszomorodva, végül is a kedvenc külföldi aukciós portálról rendeltem meg a dugókat a jövőre is gondolva, a hozzávaló beépíthető aljzatokkal együtt. Ötödébe került, csak persze másfél hónapot várni kellett rá. A **4. ábrán** az eredeti kábelek előtt láthatók a megfelelő méretű csatlakozók. A dugó is és az aljzat is könnyen szerelhető, az áramvezető betétek sárgarézből vannak, ha nem is profi minőség, de semmiképpen nem rosszabbak, mint a hegesztőhöz kapott csatlakozók. A csatlakozódugó átszerelése után az áramot jól letekerve a wofram hegyesre köszörülése után a koppintós gyújtással gyönyörűen lehetett vele hegeszteni a milliméteres rozsdamentes lemezt. Kezdők szerencséje, gondoltam. Na itt dőlt el végleg, hogy nem szedem szét maradandóan a készüléket, vagy veszek egy másik ugyanilyet egyéb célra. Persze ahogy lenni szokott, ilyen, ennyiért már nem volt sehol.

Az AWI fellángolás elcsitulása után elektromos szempontból is elkezdtem megvizsgálni a gépet. Üresjáratban kb. 63 V-os „egyenfeszültséget” lehet mérni a kimenetei között. Itt talán sokak fejében kigyullad az a bizonyos izzólámpa, ami az enyémben is megtörtént. Nagy teljesítményű multi labortáp, autóakkutöltő, hálózatról működő bikázó autóhoz, indukciós hevítő tápegység, alumíniumhegesztés… A két történet itt összeér. Kinőttem a Hobby Elektronikás tápegységet, jó lenne egy sok célú jól terhelhető alaptáp a sokféle kísérletemhez. Az idők során már összegyűjtöttem szépen lassan a toroidtrafókat, hűthető egyenirányítóhidakat, nagy pufferkondikat, hűtőbordákat meg a csatlakozókat. Az egész alkatrészhegy már van vagy 10 kilogramm és nagy tápegységem még mindig nincs. Ha minden igaz, mostmár nem is lesz nagy, nehéz tápegységem. Használtam már sokféle „hirtelentápot”, notebooktöltőket, atx-es számítógéptápot, de úgy tűnik ez a hegesztőtáp mindent visz.

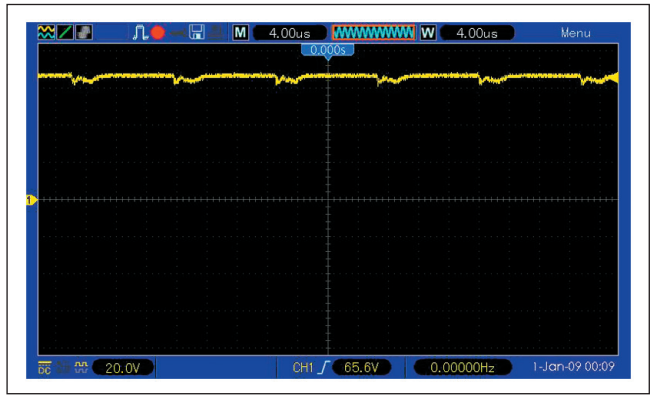
Az U-I karakterisztika felvétele

Első körben meg kellett tudni, hogy mire képes a piros doboz, mit várhatok tőle. Jól jöttek a hegesztéshez vásárolt csatlakozódugók, segítségükkel kívülről üzembiztosan lehet hozzá kapcsolódni. Az üresjárási feszültség mérése után szkóppal megnéztem, hogy milyen is az az „egyenfeszültség”, amit a hegesztő kiad. Számítani lehetett némi zajra a kimeneten a kapcsolóüzemű működésből adódóan, de az **5. ábra** szerinti zsivaj őszintén szólva azért nagyon nagy meglepetés volt. A szkópot a saját gyári mérőkábeleivel használtam, a bemenet védelme érdekében a tízes osztást bekapcsolva. A biztonság kedvéért egy 10 kohm/2 W ellenállással zártam a kimenetet. Erre azért volt szükség, hogy legyen egy kis terhelés a táp kimenetén, az esetleges nagyobb feszültségű tüskék ne a szkóp bemeneti ellenállásán kenődjenek szét. Az egyenkomponens nagyjából egyezett a multiméter által mutatott értékkel, így a szkópot AC módba kapcsolva a zajt teljes valójában figyelhetjük meg. Az időtengelyen 4 ms/div, a feszültségtengelyen 10 V/div a beállított érték. Általánosságban elmondható, hogy folyamatosan 10 V-os tüskék ülnek az egyenkomponensen, néha pedig előfordulnak 30 V feletti tüskék is. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a szűrés során majd legalább 100 V-os kondenzátorokat kell használni, hogy ne tehessen kárt bennük egy-egy komolyabb impulzus. Itt-ott beszakadások is észlelhetők, ezek nyilván jól méretezett szűrés esetén nem fognak gondot okozni. A nagyobb kiugrások viszonylag kevesen vannak hosszabb időtávot tekintve is, meglehetősen meredekek, így nem képviselnek sok energiát, jól szűrhetők/kezelhetők, nem kell tartani tőlük. A beszakadások szintén esetlegesek, tűszerűek, megjelenésükkel nem okoznak nagy hiányt.

Jó lenne megnézni, hogy néhány amperes terhelés esetén hogyan viselkedik a táp, mert jellemzően ez az a teljesítmény, amire szükség lesz. Hirtelen nem jutott más eszembe, előszedtem a fürdőszobai hősugárzót maximális fokozaton. Multiméterrel előtte megmértem, kb. 32 ohm ellenállása van. Jó közelítéssel 2 A-nek kellene átfolyni majd rajta. Bekapcsolás után a **6. ábra** szerinti képernyőképet kaptam, ami első körben igencsak lehangoló volt. A valós idejű feszültségadatokból jól látható, hogy a kimeneten egy darabig 60 V feletti feszültség van jelen, majd leesik közel nullára, aztán szépen elkezd emelkedni, és utána rendben ismétlődik a hercehurca. A jó hír azonban az, hogy a 10 V-os rendszeres pozitív tüskék eltűntek és 2-3 V-ra csökkent a kimeneti zaj. Egyszerű szűrésként megpróbálkoztam egy 47 uF/350 V-os Jamicon elkóval, a



6. ábra



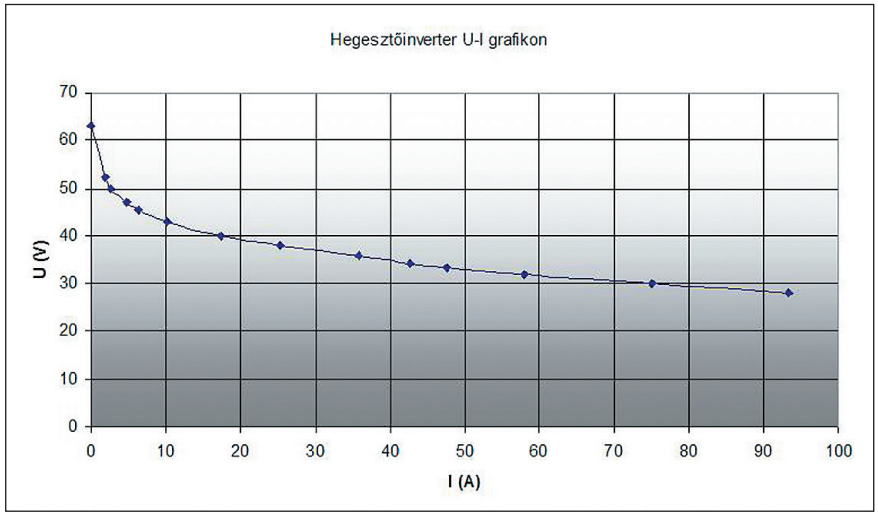
7. ábra

7. ábra magáért beszél. A jelalak kisimult, a hullámosság a kritikus részeken néhány voltra csökkent. Eltűntek a 90-100 V-ig felugró tüskék is, miközben erőlködés és melegedés nélkül több, mint 100 W-ot ad le a táp. Kapcsolóüzemű zaj sem hallatszik belülről, egyszóval pont úgy működik, ahogy az ember várja. A kimeneti jel minősége, stabilitása természetesen még messze elmarad attól, amit áramkörök beméréséhez, kipróbálásához fel lehetne használni, viszont ha belegondolunk, sokkal jobban néz ki a helyzet, mint a szokásos 50 Hz-es hálózati trafó-egyenirányító-pufferkondenzátor esetében. Kísérletképpen egy 10 µF/100 V-os elkóval is kipróbáltam a szűrést, ennél a terhelésnél akkor sem rosszabbodott jelentősen a kimeneti jelalak. Miért is elegendő 10-20 uF ennél az eszköznél, és miért kell 2200-4700 uF-ot használni egy trafós tápegységnél? A kérdés megválaszolásához két kulcsszó vezet: a jelalak és az idő. Az 50 Hz-es egyenirányított szinuszjel esetén a pufferkondenzátornak folyamatosan dolgoznia kell, és szinte csak a jel tetején áll rendelkezésére egy rövid idő, amíg teljesen fel tud töltődni, azután pedig ki kell pótolnia a trafótól kapott egyre csökkenő feszültséget és energiát. A teljesítmény négyzetesen függ a feszültségtől a jól ismert képlet szerint. Az idő szerint kiintegrálva a $\sin^2 x$ függvényt láthatjuk, hogy csekély hullámosság megengedése esetén átlagosan az energia csaknem felét a pufferből nyeri a táplált áramkör az idő jelentős részében, így érthető miért szükséges a nagy kapacitás. Nem így a kapcsolóüzemű hegesztőtrafó esetében. A messziről nézve majdnem négyszögjel miatt az idő háromnegyed részében a puffer gyakorlatilag nem csinál semmit. Folyamatosan maximális töltöttségi állapotban van, feladata csupán annyi, hogy elsimítsa a keletkező kis energiájú feszültségtüskéket. A periódusidő negyedében, nagyjából 3-4 us ideig kell csak biztosítania az energiautánpótlást. Mindenféle integrálás és bonyolult matematika nélkül is könnyű kiszámolni, hogy esetünkben egy 4,7 uF is elég lenne, mivel a simított kimenőfeszültséget még tovább változtatni, stabilizálni fogjuk. Mivel egy 47 uF/100 V-os jó minőségű elkó mérete és ára összemérhetetlen egy 4700 uF/ bármekkora V-ossal, nem érdemes ezen az alkatrészen spórolni. Vegyük azonban figyelembe, míg 50 Hz esetén kicentizhető az elkó feszültsége, hiszen a váratlan esemény gyakorlatilag kimerül egy rövidzárban, kapcsolóüzemnél érdemes a feszültségtűrést alaposan túlméretezni. Tapasztalatok alapján a nagyobb feszültségű példányok jobban viselik a feszültségtüskéket és az ebből adódó hőterhelést is. Jobb a belső szigetelésük, és kevésbé kell tartani a régi alaplapoknál oly sokszor látott púposkondi jelenségtől is.

Célszerű lenne nagyobb teljesítményeken is mérni párat, hogy képet kapjunk a néhányszor 10 A-es viselkedésről is. Fel kellene venni a teljes U-I karakterisztikát! Sajnos nem találtam 20-25 db hősugárzót, vasalót, hajszárítót. Egyedül az elektromos kerámialapos tűzhely és a sütő jelenthette volna a megoldást, de azt azért nem szerettem volna kikábelezni. Más lehetőségek után kellett nézni. Értelmes árban nem kapható olyan nagyteljesítményű ellenállás, ami a céloknak megfelelt volna. Eszembe jutott, hogy pár évvel ezelőtt a fizika szertárból leselejteztünk egy nagyon régen elpusztult 100 ohmos huzal tolóellenállást. Valójában persze nem dobtam ki, „hátha jó lesz még egyszer valamire” alapon. Jó vastag ellenállás-huzalból készítették, letekerve lett vagy 10 m a hossza. Ezt aztán lehet hajtogatni, vágás nélkül részeket párhuzamosítani, mert egyszerűen csak össze kell szorítani a kifeszített és összehajtogatott drótot a megfelelő helyeken. Multiméterrel mérve az eredő ellenállás pontosan megtudható, rövid idejű, jellemzően 2-3 másodperces mérések esetén pedig még felmelegedni sem lesz ideje a szálnak. Már a próbák során látszott, hogy 0,3 ohm - 100 ohm tartományban problémamentesen lehet hajtogatni, párhuzamosítani. A mérések elvégzésére egy szép hideg téli napot választottam, nem is volt gond a melegedéssel, elektronikus értelemben legalábbis nem. Az eredmény a **8. ábrán** látható táblázatban kapott helyet. Az első két oszlop tartalmazza a mért adatokat, a huzal eredő ellenállását és a hegesztő kapocsfeszültségét multiméterrel mérve. A látszólag összevissza ellenállásértékek a párhuzamosítások eredményeként jöttek létre. Volt ahol nem lehetett már a sok érintkezési pont miatt rendesen rögzíteni az ellenállás-huzalt, ott átkötésnek vastag rézvezetéket használtam, mert elvágni semmiképpen nem szerettem volna a huzalt.

R (ohm)	U (V)	I (A)	P (W)
-	63	0,00	0,00
28,3	52,4	1,85	97,02
19,3	49,8	2,58	128,50
10	47,1	4,71	221,84
7,3	45,6	6,25	284,84
4,2	43	10,24	440,24
2,3	40	17,39	695,65
1,5	38	25,33	962,67
1	35,9	35,90	1288,81
0,8	34,1	42,63	1453,51
0,7	33,3	47,57	1584,13
0,55	31,9	58,00	1850,20
0,4	30	75,00	2250,00
0,3	28	93,33	2613,33

8. ábra



9. ábra

A mért adatok alapján az egyszerű és ismert képletekkel az exceltábla kiszámította az átfolyó áram erősségének és a huzal felvett teljesítményének értékeit. Az adatokból kiolvasható, hogy 100 A környékén már kevesebb, mint a felére esik az eredeti kapocsfeszültség, továbbá ekkor már a hegesztő rendesen a kW-os tartományban üzemel. Ekkor már hallatszik némi cincogás a piros dobozból, de szerencsére nem bújt elő egér, sem élő sem pedig füst formában. 100 A fölött a jelenlegi módszerrel csak úgy lehetne mérni, ha sikerülne még egy tolóellenállást beszerezni. Működőképeset nem szerettem volna tönkretenni a szétszedéssel, még pár mérési pont felvételéért nem lett volna értelme. A szokásos hobbi tartományon az a szakasz már amúgy is rendesen kívül esik. A mért kapocsfeszültség és a számított áramerősség adatokból készített grafikon a **9. ábrán** látható. A görbe nem tartalmaz kiugrásokat, jelentős hirtelen változásokat, így hibán belül valószínűleg jók lettek a mérési pontok. Messziről ránézve a grafikon eső jellegű, szükség is van erre, hiszen bevonatos elektróddal, illetve AWI-val hegeszteni csak így lehet szépen. A görbe ismeretében már tervezhetők a kívánalmak a születendő tápegységgel kapcsolatban. Ha megelégszünk 30 V-os maximális kimeneti feszültséggel, kis biztonsági ráhagyással 30-40 A-es nagyon jól terhelhető tápegységhez juthatunk. Ezzel a kW körüli teljesítménnyel már problémamentesen meghajtható egy indukciós hevítő, esetemben ez fontos célként szerepelt. Ha 40 V körüli kimenőt szeretnénk, ott már alább kell adni kicsit az igényekből, 8-10 A-ben maximalizálja az erőforrás a kivehető áramot. A grafikont nézegetve és továbbgondolva eszembe jutott, hogy olyan 150-180 A környékére tehető egy dízel személyautó indítómotor áramfelvétele jó időben, télen pedig méréseim szerint nagyjából 200 A. Ebben a tartományban márcsak nagyjából 15-18 V-ot várhatunk a piros doboztól, ami pont kívánatos is lenne, viszont a nagy üresjárási feszültség miatt nem szabad közvetlenül csatlakozni, hiszen 60 V-tól az autó összes elektronikája szempillantás alatt tönkremenne.

Más típusú hegesztőinverter esetében természetesen más feszültség és áramértékek adódhatnak, ezért a táppal szemben támasztott követelmények megfogalmazása előtt 3-4 mérési pontot mindenképpen ajánlatos felvenni, majd görbét illeszteni azokra. Ha sikerül beszerezni egy 300 A-es készüléket, a 40 V-os tartomány ott jóval szélesebb lesz a kisebb belső ellenállás miatt.

A tápegység

Az elkészítendő kezdő labortáp tudásával kapcsolatban a fő követelmények áttekinthetően összefoglalva a **10. ábrán** láthatók. A hétköznapi munka során mindenképpen szükség van jól terhelhető nevezetes fix feszültségekre. A 12 V megszokott, kellemes, a kísérletezésekhez elengedhetetlen feszültség. Jól illeszkedik az analóg és a CMOS áramkörök igényeihez. Ha mikrovezérlővel, vagy digitális áramkörökkel dolgozunk, az 5 V az etalon. Egyre gyakrabban találkozni 3,3 V-ról (is) üzemelő áramkörökkel. Az energiatakarékossági megfontolások és a méretcsökkentés indokolttá teszi ezt a feszültségszintet is. Sajnos néha

Fix kimenetek:

12 V/5 A
5 V/5A
3,3 V/5 A
1,8 V/5 A

Állítható kimenet:

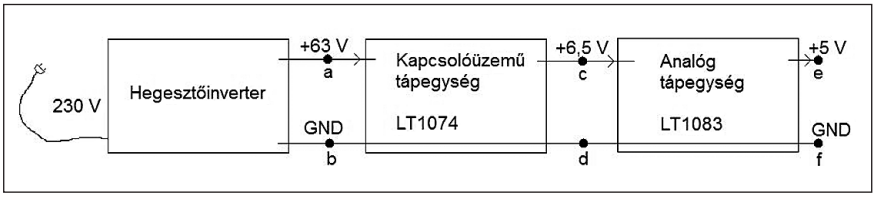
1,2-30 V/5 A

10. ábra

összefut az ember olyan, elsősorban precíziós áramkörrel, amely 1,8 V-os referenciát, vagy tápellátást igényel. A nagyfelbontású, nagysebességű A/D, D/A konverterek, valamint egyes memória-áramkörök tartoznak ide, előbb utóbb úgyis beléjük botlik az ember… Előfordulhat, hogy változó tápfeszültséget, vagy a szokásostól eltérő szinteket kell használni egy kapcsolásnál, ennek megoldására jól jöhet egy 0-30 V között állítható modul. Az 1 V alatti feszültségeket egyszerű eszközökkel nehéz kezelni, általában nincs is rá szükség, ezért az 1,2 - 30 V tartományt fedi le a tápmodul.

A terhelhetőség tekintetében viszont nincs kompromisszum, minden kimenetnek tudnia kell az 5 A-es kimenőáramot hosszútávon folyamatosan biztosítani. A kimeneteken nem lehet érzékelhető zaj jelen, ami mV alatti tartományt jelenthet csupán. A kimeneteknek tartósan el kell viselniük meghibásodás nélkül a rövidzárat, a tápvezetékek összeszikrázását. Sajnos ilyen esemény előfordulhat egy áramkör fejlesztése, bemérése során, így ezt is kezelni kell tudni. Az egyszerű tápegység moduljai közös GND-vel rendelkeznek, ennek legfőbb oka, hogy a hegesztőhöz kívülről csatlakozva a burkolat megbontása nélkül csupán két kábellel szeretnénk csatlakozni.

Az egyes stabilizátor-kapcsolások tervezésénél két fő szempont az egyszerűség és a modulszerű felépítés volt. Az eddigiekből talán már lehet érezni, hogy az analóg áteresztőtranzisztoros megoldások ide nem felelnek meg. Az egyik ok a nagy hűtésigény. Az 5 V-os kimeneten teljes terhelésnél több, mint 200 W-nyi teljesítményből keletkező hőt kellene elfűteni. Ez óriási hűtőbordát, és/vagy ventilátort igényelne. Egy ventillátor már van a hegesztőben, köszönjük, nem kérünk még egyet. A 200 W eldisszipált teljesítmény



11. ábra

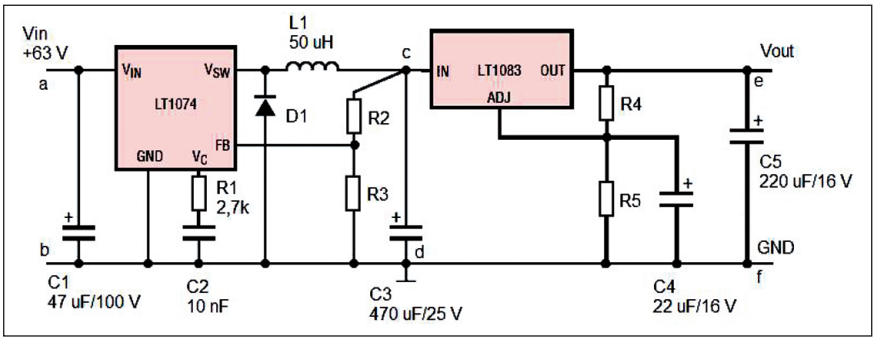
mellett csupán alig 25 W lenne az áramkör hasznos produkciója, ami körülbelül 0,11-es, vagyis 11% körüli hatásfokot jelentene. Ez a 21. században a nagy környezetvédelmi példabeszédek és (látszat)intézkedések korában elfogadhatatlan dolog lenne… Természetesen senki sem tartható vissza attól, hogy 2in1 keretében műhelyfűtést is építsen. Kétségtelen viszont, hogy az analóg tápegységek zaja kellő gondossággal csaknem 0-ra szűrhető, ez nehezen mondható el a gazdaságos kapcsolóüzemű tápegységekről. Mi hát akkor a megoldás? Egy komplex kapcsolás, amelynek első része kapcsolóüzemben a kívánt kimenőfeszültség közelébe alakítja az energiát, majd ezután egy soros áteresztő-rendszerű profi stabilizátor azt precízre faragja. Az átalakítás hatásfokát jelentős mértékben a kapcsolóüzemű digitális rész határozza meg, a kimeneti feszültség pontosságát pedig az analóg rész.

Az 5 V-os fix feszültségű csatorna tömbvázlata látható a **11. ábrán**. A kapcsolóüzemű feszültségcsökkentő áramkör (buck converter) az „a” ponton belépő +63 V-os feszültséget kb. 6,5 V-ra csökkenti jó hatásfokkal. Ez megjelenik a „c” ponton, majd belép az analóg szabályozóba. Itt viszonylag kevés a feszültségesés, nagyjából 1,5 V, így nem disszipál sokat az egység, mégis a stabilizálás és szűrés funkciót maradéktalanul ellátja. A kész 5 V-os feszültség az „e” ponton lép ki, itt már zajmentes, stabil és jól terhelhető. Az „a” és „b” pontokra kapcsolódik természetesen a többi fix feszültségű csatorna is, mindegyik a saját beállításaival. A 12 V-os csatorna „c” pontján kb. 13,5 V-ot, 3,3 V-os esetben nagyjából 5 V-ot, míg az 1,8 V-nál 3,5 V-ot mérhetünk. A modulrendszernek köszönhetően egyféle nyáklemezt kell gyárta(t)ni, könnyű a szerelhetőség és a dobozolás is egyszerűbb. Nem utolsó sorban később más fix feszültségeket tartalmazó modulokat is beépíthetünk igény szerint. Az egyes modulok csak a beállításban különböznek egymástól.

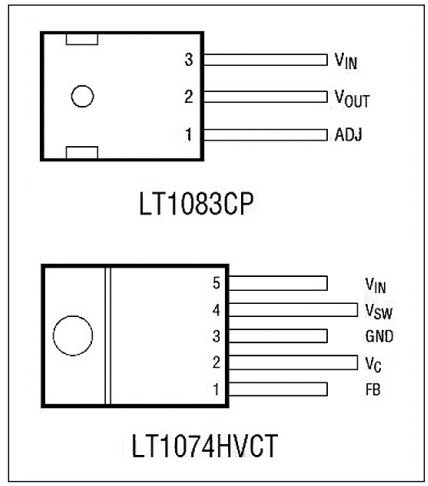
A fix feszültségű modul kapcsolása a **12. ábrán** látható. Azért, hogy minél kevesebb alkatrészből álljon és minél egyszerűbben megépíthető legyen az áramkör, kissé szokatlan, de precíziós integrált tokokat használunk. A kapcsolóüzemű áramkör az LT1074HV, az analóg rész pedig az LT1083CP tokok köré épül. Ezek nagyon jó minőségű céláramkörök, megéri őket használni. Kereskedelemben kedvező áron beszerezhetőek, így teljesen felesleges lenne sok munkával ismét feltalálni a melegvizet, amikor már lehet kapni bojlert is. Mindkét IC-t a Linear Tech. gyártotta régen, mostanára összeolvadt az Analog céggel.

Az LT1074 IC egy komplett step-down regulator, azaz egy olyan kapcsolóüzemű feszültségátalakító, amely jó hatásfokkal képes lefelé konvertálni a bemenőszintet. Az ötlábú TO-220 tokban egy 100 kHz-en működő 5 A-es teljesítménykapcsolóval ellátott komplett szabályzórendszert találunk belső referenciával. Minimális külső alkatrész segítségével kelthető életre, így rendkívül felhasználóbarát. Tartalmaz túlterhelés elleni védelmeket is, gyakorlatilag elnyűhetetlen. Külön védelem vigyáz a belső teljesítménykapcsolóra, figyeli az átfolyó áramot és a tranzisztor hőmérsékletét, szükség esetén lekapcsolja azt. Pár RC elemen kívül csak gyors diódát, meg egy induktivitást kér. Közepes terhelésnél 80 és 90% közötti hatásfokkal dolgozik, sokkal jobb alternatíva egy áteresztőtranzisztoros tápnál. Melegedése minimális, tervezői a hűtőfület GND-re kapcsolták, így akár több példány is külön szigetelés nélkül erősíthető fel egy picike hűtőlemezre. A csekély hűtésigény miatt gyártják forraszthető DD tokozással is, ami még kényelmesebbé teszi a használatát. Kétféle verzióban gyártják, lehet kapni ötlábú és hétlábú változatban is. Itt az egyszerűbb kivitelt használjuk, lábkiosztása a **13. ábra** alsó felén látható. Erről hiányzik a kimenőáram-határolás beállítási lehetősége, és a shutdown, azaz a külső lekapcsolásvezérlés. Az áramlimitet az egyszerűbb verzióban 5 A-re állítja be a gyártó, pont jó így. A vásárlás során mindenképpen figyeljünk arra, hogy létezik belőle nagyfeszültségű kivitel, ezt a típusjelzés végén egy „HV” toldalék jelzi. A relatíve nagy bemenőfeszültség miatt kapcsolásunk csak a HV változattal lesz hosszú életű. Ár/érték aránya kitűnő, 5-600 Ft körüli ára pont annyi, amennyit az ember még komolyabb vonakodás nélkül kifizet egy IC-ért.

A V_{in} kivezetésen keresztül közvetlenül vezetjük a hegesztőinverter 47 uF-dal szűrt kimenőfeszültségét az LT1074 IC-be. A 100 kHz-en kapcsolgatott tápfeszültség az L_1 tekercsre jut a V_{sw} kimeneten keresztül.



12. ábra



13. ábra

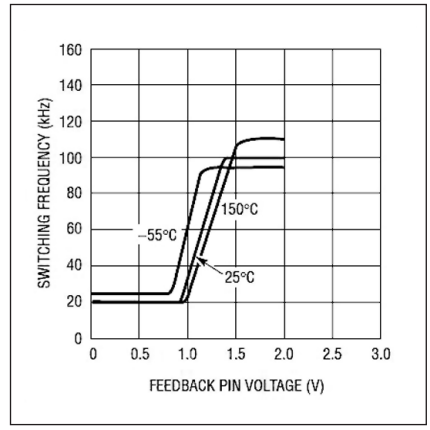
Az induktivitás nagysága és kivitelezése alapvetően befolyásolja a modul működését. Elkészítésére, vagy kiválasztására gondosan ügyeljünk. Nagyfrekvenciára alkalmas SM teljesítmény-induktivitások már szép számban kaphatók a kereskedelemben. Olyat keressünk, amely 5 A-es áram akár folyamatos elviselésére alkalmas. Érdemes árnyékolt változatot beszerezni a szórás csökkentése érdekében. A tekercsek számkódolása általában 3 jegyű, hasonló az ellenállásokéhoz. Első két számot összeolvassuk egy kétjegyű számmá, a harmadik szám pedig a nagyságrendet jelöli tízhatvány formájában. Az induktivitások legkisebb egysége a nH, ezért az 50 uH-s tekercsen az 503 jelölést fogjuk megtalálni. 503 → $50 \cdot 10^3$ nH = 50 uH. A kapcsolás másik kritikus eleme a D_1 energiavisszanyerő dióda. Ez a dióda biztosítja a tekercsben felhalmozódott energia levezetését az IC belső kapcsolójának zárása esetén. A magas működési frekvencia miatt ide megfelelő áramtűrésű és feszültségű Schottky-diódát használjunk! Az 50 Hz-es egyenirányító diódák ebben a pozícióban csak melegedni fognak, majd egyszer csak füstjellel tudatják, hogy elfáradtak. Az IC adatlapja az MBR745 típust ajánlja, de a tapasztalatok szerint egy levitézlett MOSFET vagy IGBT védődiódája is megteszi. Sok teljesítménykapcsoló eszköz esetében a drain-source, illetve a kollektor-emitter lábak közé nagysebességű diódát integrálnak, amely az alkatrészt megvédi az esetleges záróirányú terheléstől. Ezek a diódák általában 300-400 mV körül már nyitnak, nagy sebességűek, közvetlenül kapcsolódnak a tok hűtőfüléhez és kb. annyi áramot viselnek el, mint a MOSFET, vagy az IGBT. Ezek a diódák a legritkább esetben mennek tönkre, inkább a kapcsolóelem hibásodik meg a tokban. Az első deszkamodellbe egy tönkrement IRG4PC50UD IGBT diódája került be.

A pontos kimenőfeszültséget az R2-R3 ellenállásosztóval lehet beállítani. Az IC-ben helyet kapott egy pontos 2,21 V-os feszültségreferencia. Egy belső komparátor ehhez hasonlítja az IC FB (feedback) bemenetére kerülő jelszintet. Ha az FB lábon nagyobb a feszültség, mint 2,21 V, a belső kapcsolóelem kikapcsol, nem jut áram a tekercsre, a működés szünetel. Ha a C3 kondenzátoron a terhelés miatt a feszültség annyira lecsökken, hogy az R2-R3 osztópontján a szint 2,21 V alá esik, a belső oszcillátor újraindul és a C3 feszültsége ismét megnövekszik az osztóval beállított értékig. A szabályzókör tehetetlensége folytán kis hullámosság marad ugyan a C3-on, de sokkal kisebb, mint a bemenőjelé volt. Az R2-R3 soros eredőjét praktikusan úgy állítsuk be, hogy kb. 1 mA erősségű áram haladjon keresztül rajtuk. A pontos érték nem fontos, a nagyságrend annál inkább. Az 5 V-os csatorna esetén a C3-on tartsunk 6,5 V-ot, ehhez R2 = 2,2 k, míg R3 = 4,3 k tökéletesen megfelelő. Ha lehet, részesítsük előnyben az 1%-os tűrésű ellenállásokat ebben a pozícióban. Nem kifejezetten a pontos érték miatt, hanem mert a pontosabb ellenállások stabilitása is jobb, kevésbé fog mászkálni a kimeneti kondenzátor feszültsége. Számítsuk ki a többi csatornára is a feszültségosztó adatait! Az osztóra vonatkozó képletből könnyű levezetni, hogy

$$R_2 = \frac{(U_c - U_{ref}) \cdot R_3}{U_{ref}}$$

U_c helyére az aktuális kívánt kimeneti feszültséget helyettesítsük, U_{ref} az IC belső referenciája, esetünkben 2,21 V. R_3 praktikusan 2,2 kohm/1% lehet, így nem kell sokat számolni sem. A 12 V-os csatorna 13,5 V-ja esetén R2 = 11,3 kohmnak adódik, a 3,3 V-os modul 5 V-jánál R2 = 2,8 kohm, míg a legkisebb kimeneti feszültség esetén R2 = 1,3 kohm. Ha nem tudjuk beszerezni a pontos értékeket, nincs gond, a legközelebbi alsó érték is megfelel, legfeljebb így egy kicsit nagyobb lesz a kimenőszint és picit többet fog disszipálni a következő fokozat. Remélhetőleg nem fog a zöldek bosszúja életünk végéig üldözni emiatt, viszont a biztonság kedvéért a lámpát ezentúl kapcsoljuk le, ha kimegyünk a konyhából.

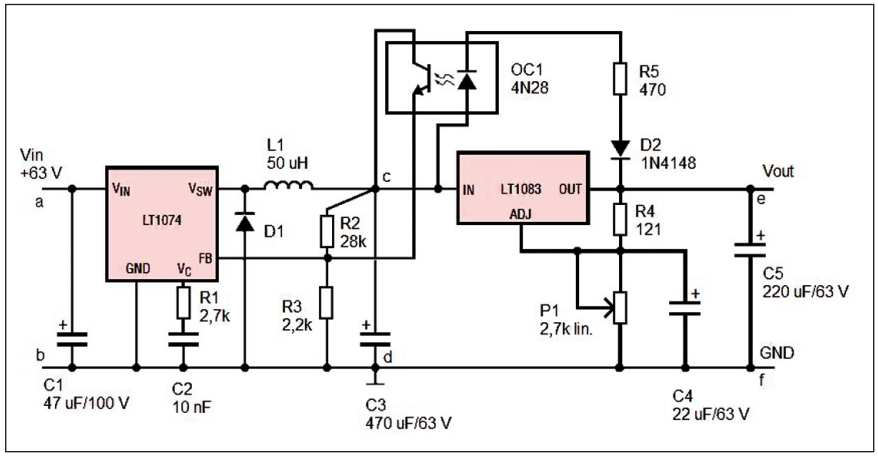
A kapcsolásban az R1 -C2 komplexum a vezérlőfeszültség frekvenciamenetét állítja be, értéke nem kritikus. Az IC rendelkezik egy ún. frequency shift funkcióval, amely arra szolgál, hogy a nagyon rövid kapcsolgatási időket megakadályozza. Amikor rövidzár, vagy ahhoz közeli állapot van az Uc ponton, az előbb látott feszültségosztó középső pontja 2,21 V-nál jóval alacsonyabb potenciálon van. Ez a feszültség megjelenik az FB lábon és intenzívebb működésre igyekszik bírni az IC-t. Szélsőséges esetben már olyan rövid kapcsolási idők adódnának a 100 kHz frekvencián, hogy a szabályzó hurok nem működne jól. Ekkor egy



14. ábra

belső áramkör a kapcsolási frekvenciát fokozatosan lecsökkenti 20 kHz környékére, a kisebb frekvenciához hosszabb kapcsolási idők tartoznak, így a szabályzás működőképes marad. A gyári adatlap erre vonatkozó grafikonja látható a **14. ábrán**. A 20 kHz elérése nem pillanatszerűen történik, hanem folyamatosan, így a kimeneten és az IC működésében tranziens nem jelentkezik. A grafikon vízszintes tengelyén látható az ellenállásosztó kimenetén, illetve az FB lábon megjelenő feszültség, a függőleges tengelyen pedig a kapcsolási frekvencia. A folyamat természetesen visszafelé is működik, ha a kimeneten megszűnik a rövidzár, a frekvencia visszaáll a normál 100 kHz környékére.

Az LT1083CP egy precíziós nagyáramú analóg áteresztőtranzisztoros feszültségszabályzó áramkör. Néhány dologban hasonlít a régebben közkedveltnek számító LM317-hez. Ez is háromlábú, a kimeneti feszültség beállítása pedig egyszerűen két ellenállás segítségével történik. És akkor a hasonlóságok itt véget is érnek. A TO-3P tokozás lábkiosztása felülnézetből a 13. ábra felső részében látható. A tok robusztus, kivezetései vastagok. Megfelelő hűtéssel 60 W-ot is képes eldisszipálni. Folyamatos kimenőárama átlagos üzemi körülmények között legfeljebb 7,5 A lehet, viszont megfelelő hűtés esetén a kimeneti áramvédelem csak 9 A környékén kapcsol be. Ez nagyjából 9 db 7805-ös tudása egy tokban. Finom. A mostani kapcsolásban csak 5 A-ig használjuk, de erősebb előtétek esetén gond nélkül kivehetünk belőle 7-8 A-t is. Maximális bemenőfeszültségét a gyártó 30 V-ban állapította meg. Az igazi érdekesség viszont az, hogy akár már 1 V-os feszültségkülönbségtől (dropout) jól sza-



15. ábra

bályoz. Nincs szükség kb. 3 V-ra, mint a 78xx sorozat esetében. Biztonsági rátartást hagyva, ezért lett az 5 V-os csatorna U_c-je 6,5 V-nak választva. Még a maximális 5 A-es kimenőáram mellett is csak P = UI = 1,5 V·5 A = 7,5 W-ot disszipál. Ha hozzávesszük a kapcsolóüzemű rész hatásfokát is, maximális terhelés esetén is elérjük a 70%-os modulhatásfokot. Ez nagyon jó teljesítmény. Az ilyen üzemmódra is képes szabályzókat megilleti az LDO előtag, ami a Low DropOut rövidítése. Ezeket az áramköröket jellemzően valamilyen módon előszabályzott táplálás esetén alkalmazzák a kimenőszint precíz finomszabályzására. Ez itt is pontosan így történik. A kimenőjel stabilitása és pontossága páratlan, a kisjelű tartományban csak 0,015%-os a szabályozás hibája. Ez kisebb, mint 1 mV, az IC tudása sokszorosan felülmúlja a kísérletezéshez az elvárható pontosságot. Az LT1083 darabja az interneten 2-300 Ft-ért beszerezhető, persze csak ha van időnk másfél hónapot várni rá.

A 12. ábra szerinti kapcsolásban az R4-R5 ellenállásosztó állítja be az IC ADJ kivezetésén keresztül a stabilizált kimeneti feszültség nagyságát. Az LT1083 belső referenciafeszültsége 1,25 V. A pontos kimenőfeszültséget a

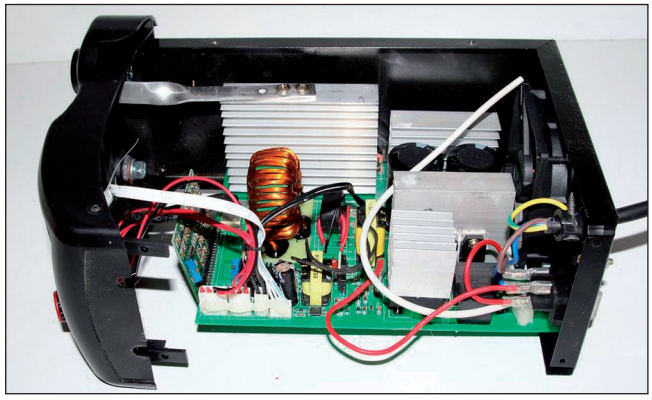
$$V_{out} = 1{,}25V \cdot (1 + \frac{R_5}{R_4})$$

összefüggés segítségével állíthatjuk be. R4 helyére praktikusan 125 ohmot helyettesítve R5 értéke nagyon egyszerűen kapható meg. Itt is érvényes, hogy a kimeneti stabilitás növelésére kis tűrésű ellenállásokat válasszunk, az 1%-os sorból a 124 ohm pont megfelelő. Az 5 V-os modulba R5 helyére 380 ohmot kell beépíteni. Itt nagyon fontos, hogy akár több ellenállásból összeépítve pontosra szabályozzuk a kimenőszintet, hiszen ez már a végső feszültség. Potenciométert nem ajánlatos beépíteni, bár tény, hogy egyszerűbb megoldás lenne. A trimmer idővel, vagy véletlenül, esetleg rázkódástól elállítódhat, hőfokfüggése a nyomába sem ér egy 1206-os SM ellenállásnak. Érdemes munkát és időt szánni a pontos beállításra.

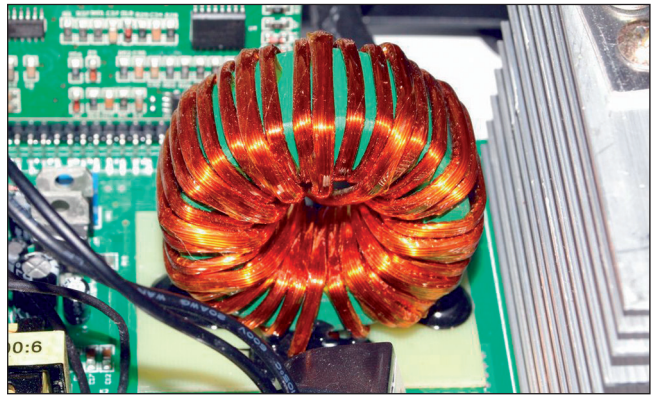
A C4 kondenzátor segít a kimenetet zajtalanabbá tenni. A konkrét érték megválasztásakor vegyük figyelembe, hogy az adatlap szerint a szűrés akkor hatásos, ennek a kondenzátornak az X_c-je az adott frekvencián kisebb, mint a feszültségosztó felső tagjának ellenállása (R4).

Ha kívülről várható valamilyen ellentáplálási hazard, (pl., ha akkutöltést végzünk és megszűnik a betáp stb.), akkor célszerű az IC be- és kimenetével párhuzamosan beépíteni egy nagyobb teljesítményű diódát záróirányban. Ez a dióda lehetetlenné teszi, hogy a kimenet jóval magasabb potenciálra kerüljön, mint az IC bemenete. A kapcsolás elkészítésekor tartsuk szem előtt, hogy az IC hűtőfelülete kimeneti potenciálon van, ha az LT1074-gyel közös hűtőfülre szereljük, egymástól feltétlen el kell szigetelni őket! Praktikusan az LT1083 alá tegyünk csillámlemezt a jobb hőátadás érdekében mindkét oldalán hővezető pasztával bekenve! Zajvédelem szempontjából is kívánatosabb, ha egy hűtőborda GND-n van.

A 30 V-os változtatható feszültségű tápegység kapcsolása a **15. ábrán** látható. Nem sokban tér el a fix változattól. Az egyedüli megoldandó feladatot a kapcsolóüzemű és az analóg szabályzó összehangolása jelenti. A kimenőszint beállítását a P1 precíziós potméterrel végezzük. Ide érdemes nagyon jó minőségűt, esetleg többfordulatú változatot beszerezni. A potméterrel a már megismert módon beállítjuk az LT1083 kimenőszintjét. A feladat az, hogy ezt valamilyen módon kövesse a kapcsolóüzemű rész feszültsége is, azaz a „c” ponton mindig csak picit magasabb feszültség legyen jelen, mint a kimeneten. Láttuk, hogy 1-1,5 V már elég az analóg oldali szabályzáshoz, így ha pl 18 V-ot állítunk be a kimenetre, meg kell oldani, hogy a kapcsolóüzemű áramkör kimenetén 19-20 V legyen jelen. Az LT1083 be és kimenetének egyidejű figyelésével viszonylag egyszerűen megoldható a feladat. Az egész áramkörben előforduló relatíve nagy feszültségkülönbségek miatt optocsatolót használunk erre a célra. A D2-R5 soros R-D tagon keresztül kap táplálást az OC1 optocsatoló LED-je. A 4N28-as IC LED-je 1,1 V környékén kezd nyitni, ehhez hozzáadódik még az 1N4148 kb. 0,7 V-ja, így nagyjából 1,8 V eredő nyitófeszültséget kapunk. Ez azt jelenti, hogy a LED csak akkor kezd világítani, ha az LT1083 be és kimenete közt legalább 1,8 V feszültségkülönbség van. Az R5 ellenállás szerepe a diódákon átfolyó áram beállítása, korlátozása. Nélküle ideges és kapkodó lenne a szabályzóhurok működése, az ellenállás lágyabbá teszi a „c” pont feszültségének fel és lefutását. Az LT1074 IC alap kimeneti feszültségét az R2-R3 ellenállások 30 V-ra állítják be. Ez nagyon fontos, mivel az analóg szabályzó bemenetére legfeljebb 30 V kerülhet csak. Az optocsatoló fototranzisztora az R2-vel párhuzamosan kapcsolódva képes beleszólni a „c” ponton mérhető feszültségbe. A folyamat úgy megy végbe, hogy ha az LT1083 ki és bemenete közt 1,8 V-nál nagyobb feszültség van jelen, az OC1 LED-je világítani kezd, a fototranzisztor kinyit, kollektor-emitter ellenállásának és az R2-nek párhuzamos eredője adja innentől a feszültségosztó felső ellenállását. A párhuzamos eredő mindig kisebb bármelyik tagnál, ezért az FB pont feszültsége feljebb vándorol, amelynek eredménye kisebb feszültség a „c” ponton. Látható, hogy a változtatható és a fix feszültségű modulok csak négy alkatrészben különböznek egymástól, készíthetünk egyforma nyáklemezeket mindegyikhez. A kapcsolások kevés alkatrészt tartalmaznak és egyszerűek, azonban sokféle hűtőborda és dobozméret fordulhat elő, így itt nyáktervet nem közlünk.



16. ábra



17. ábra

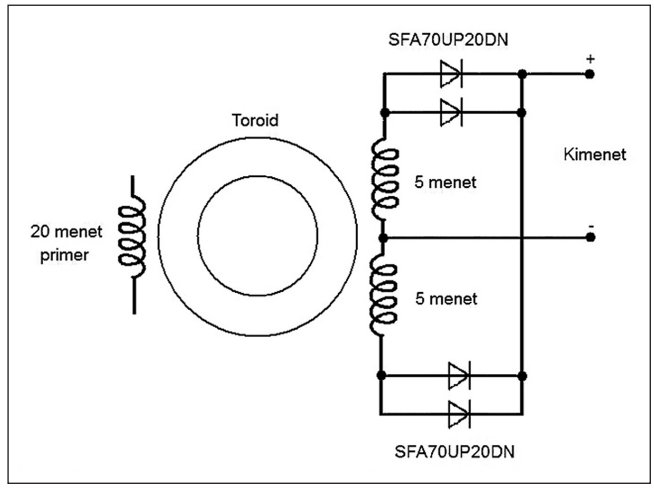
A méretek csökkentése érdekében a kisteljesítményű alkatrészek esetében válasszuk bátran a 1206 SMD méretet.

Nézzük meg, mi van belül!

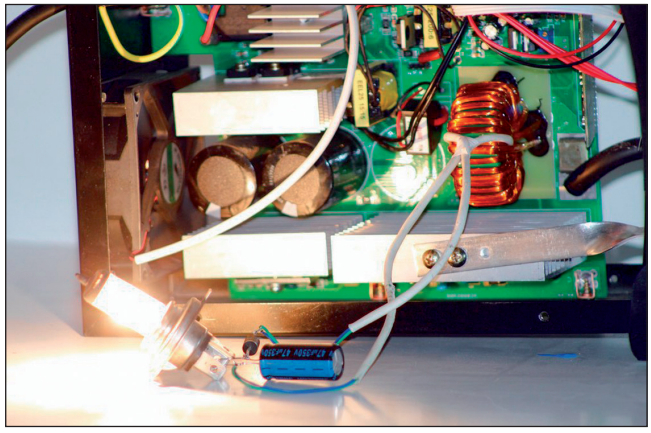
Eleinte határozottan nem szerettem volna szétszedni a hegesztőt, viszont ahogy telt-múlt az idő, egyre többször kukucskáltam a belsejébe a ventilátornál, meg az előlapon található szellőzőréseken. Több inverteres hegesztő kapcsolását is láttam már az interneten így nem kifejezetten az áramkör érdekelt, hanem az, hogy milyen alkatrészek vannak benne, esetleg mit lehet még belőle kihozni. Jó néhány lemezcsavartól megszabadítva a dobozt, a szörnyű piros lemezburkolat egyben leszedhető. A **16. ábrán** látható dolgok voltak a burkolat alatt.

Ha egy ilyen szétszedésére adjuk a fejünket, mindenképpen tartsuk észben, hogy ebben nincs hálózati trafó, ami megvédene az áramütéstől!

A kapcsolás és a nyáklemez szinte minden része hálózati feszültségen van, érintése halálos lehet. Persze a dohányzás is okozhat halált a dobozfelirat szerint, úgyhogy uccu neki, fejtsük meg a varázslatot. Az már első pillantásra nyilvánvaló, azért van itt veszteség bőven, hiszen mindenhol hatalmas hűtőbordák meredeznek. Természetesen keletkezik hő a működés közben, viszont a 100 W-os Quad405-nek nagyobb hűtőbordái vannak, itt pedig kW-ok szaladgálnak. Az üzembiztonság növelésére beépítettek egy ventilátort is, ami a készülék bekapcsolása után azonnal forogni kezd mindvégig állandó fordulatszámmal. Azonosítsuk a főbb részegységeket! A jobb oldalon hozzánk legközelebb egy kis hűtőborda alatt helyezkedik el a hálózati graetz híd. Mögötte két egyforma, egymással szembefordított hűtőbordán találhatunk négy darab TO-247-es tokozású alkatrészt. Ezek kapcsolóelemek és diódák. Közöttük látható két méretes hengeres elkó, ezek szűrik és pufferelik az egyenirányított hálózati feszültséget. Szemben hátul a legnagyobb hűtőbordán találjuk a kisfeszültségű oldal nagyfrekvenciás egyenirányítóit. Innen közvetlenül lemezcsíkok csatlakoznak a kimeneti csatlakozókra. Ez az egyetlen eleme a belső résznek, amely működés közben nincs hálózati potenciálon, de ettől függetlenül nem érdemes akkor nyúlkálni a gépben! A bal oldalon, a főpanelre (majdnem) merőlegesen találjuk a vezérlő és kijelzőmodult. Az igazi varázslat azonban előttünk van középen. Ez pedig a nagyfrekvenciás toroidtranszformátor. Ez a legfontosabb és egyben a legértékesebb része a doboz tartalmának, nemhiába, ezzel lehet a legtöbbet kezdeni. Egy közeli kép a toroidról a **17. ábrán** látható. Összesen hat kivezetése van, könnyen kideríthető, hogy ez három egymástól különálló tekercset jelent. Megszámolva a meneteket kiderült, hogy az egyik nagyobb menetszámú, a másik kettő egyforma és kis menetszámúak. A nagy menetszámút tekercselték közvetlenül a magra, ez 20 menetből áll. A két kisebb 5-5 menetes. Mindegyik tekercs ugyanabból a típusú vezetékből készült. Az ábrán is látszik, hogy jó pár vékony huzal összefogva, majd átlátszó műanyag csőbe bújtatva alkotja a tekercselési alapanyagot. A kis menetszámú tekercspár szépen elosztva helyezkedik el a nagy tekercs felett. A tekercsek feltérképezett kapcsolása látható a **18. ábrán**. Balra a primer tekercset találjuk, ehhez nem praktikus hozzányúlni. Jobbra a két ötmenetes tekercs az egyenirányítókkal alkotja a szekunder oldalt. A beépített SFA70UP20DN TO-3P tokozású alkatrészek két gyors diódát tartalmaznak, oldalanként egyszerűen párhuzamosan kapcsolva. Az esetleges nyitófeszültségbeli szórás miatt ez nem túl elegáns megoldás de kétségtelen, hogy egyszerű és működik. A diódák egyesével 70 A/200 V paraméterekkel rendelkeznek az adatlap szerint. A 200 A-es maximális hegesztőáramhoz finoman szólva sincsenek túlméretezve… A két szekunder tekercs úgy helyezkedik el a toroidon, mintha egymás folytatásai lennének, középleágazású tekercs hatását keltve. Ezzel a megoldással a tekercs melegedését lehet csökkenteni, a diódák



18. ábra



19. ábra

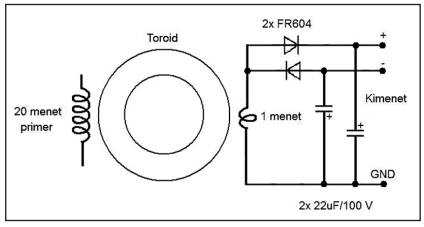
is tudnak pihenni, cserébe viszont az aktív időablakban nagyobb az alkatrészek igénybevétele.

A hálózati nagyfeszültségű részt logikusan belegondolva nem érdemes piszkálgatni, átalakítgatni. Higgyük el és nyugtassuk meg magunkat, hogy azt okos és ügyes kínai elmék és kezek olyan módon méretezték határra, hogy azon garantáltan csak rontani tudunk. Nem ez a helyzet azonban a kisfeszültségű résszel. Itt rejtőzik az igazi átalakítási lehetőség. A toroid szekunder oldala a külön tekercselés miatt biztonságos és életvédelmileg kifogástalan elválasztást biztosít a rázós oldaltól. Szinte akármilyen tekercselést készíthetünk az egyetlen menettől a néhányszor tíz menetig. Építhetünk kis és nagyfeszültségű kísérletezőtápot, akár még elektroncsövekhez is. Nem kell többé sok-sok menetes szekundereket és primereket készíteni 50 Hz-re, itt csak pár menet és kész a tekercs.

Az első saját tekercs

A mérések szerint üresjáratban 63 V körüli feszültség mérhető a kimeneten. Ehhez képest a diódán eső feszültség elenyésző. Ezt kell 5 menetre elosztani, ami azt jelenti, hogy egy menetre kicsit kevesebb, mint 13 V jut. Egy menet nem a világ, érdemes kipróbálni. Ha világít róla a 60 W teljesítményű autó fényszóróizzó, akkor nyertünk. A kísérlet eredménye a **19. ábrán** látható. Teljes a siker. Az izzó majdnem teljes fénnyel világít. A szekunder „tekercs” egy egymenetes vezetékhurok, vékony szigetelt kisjelű kábelpárból készítve. A kapcsolás nagyon egyszerű, egyutas egyenirányító. Az egyetlen menet végén egy FR604-es dióda, majd utána a már ismert 47 uF/350 V-os elkó dolgozik. A mérések szerint a kondenzátoron 11 V van jelen üzem közben, ami nagyjából 4,5 A-es üzemi áramot jelent az izzólámpán. Szinte hihetetlen, hogy egy ilyen vékony vezetékdarabon ekkora áram képes folyni számottevő melegedés nélkül. A jelenség megértéséhez ne felejtsük el, hogy a toroidtranszformátor nagyfrekvencián üzemel, az ún. szkinhatás néhányszor tíz kHz-en pedig már jelentős mértékű. Ez azt jelenti, hogy nem a drót belsejében folyik az áram, hanem a felületén, esetleg a huzal néhány %-os héjában. A sok kis nagyon vékony drótból készült sodrott vezeték ideális áramvezető jelen esetben. A műanyag szigetelésen belül a vékony drótok nem rendelkeznek szálanként külön lakkszigeteléssel, az összfelületük azonban még így is legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mintha ugyanolyan össz-keresztmetszetű tömör vezetéket használnánk. Sokkal kedvezőbb eredményt lehetne elérni, ha 8-10 db 0,2 mm átmérőjű lakkozott rézhuzalból álló csokrot használnánk, itt a vezetők összfelülete a szigetelés és az össze nem érés miatt még nagyobb lehetne, a veszteségek pedig még kisebbek. Nagyobb frekvenciákon a közép meg rövidhullámú rádiózásban ezért használják az ún. litzehuzalt, sokkal jobb vezetőképesség érhető el általa. Persze ott nem a nagy áramok miatt, hanem azért, hogy egy rezgőköri tekercs jósága nagyobb legyen. Saját szekunder tekercs készítésekor mindenképpen tartsuk szem előtt, hogy itt nem csupán néhány %-os hatásfoknövelésről van szó, hanem alapvető dologról. Kétségtelen, hogy könnyebb egy jó vastag tömör vezetékdarabból elkészíteni a tekercset, még alaktartó is lenne egyben, a táp ezzel szemben viszont nem fogja hozni a kívánt áramot, szélsőséges esetben füst kíséretében tönkre is mehet. A vezetékcsokor elkészítésekor 8-10 szálat még viszonylag könnyen tudunk kezelni, azonban ha 10-20 A körüli vagy afeletti áramot szeretnénk, a darabszám megtartása mellett válasszunk inkább vastagabb szálakat. Fontos megjegyezni, hogy a vezetékcsokorból csak a mindkét végükön precízen beforrasztott szálak vesznek részt a vezetésben, így 15-20 szál kezelése már meglehetősen problematikus lenne.

A hegesztő belseje az ember számára veszélyes terep, onnan kicsatolni valamit kellő körültekintés nélkül még veszélyesebb. Azt a hamis biztonságérzetet keltheti a felhasználóban, hogy a dobozon kívül már minden biztonságos, nem kell áramütéstől tartani. *Ez csak abban az esetben igaz, ha a kivezetett drótokat a készüléken belül igen jó szigeteléssel láttuk el.* A toroid eredeti tekercsei lakkozott rézhuzalból készültek, és a vezetékcsokrokat még külön átlátszó műanyagcsőbe is behúzták tekercselés előtt. Ez nagyon fontos többszörös védelmet jelent mind a tekercs, mind pedig az ember számára. Saját tekercs készítésekor is hasonlóan járjunk el, ne bízzuk az életünket csupán a rézhuzal lakkszigetelésére, amikor mellette többszáz voltos halálos impulzusok szaladgálnak, ráadásul elég sűrűn. Ezzel nem elriasztani szeretném a kísérletezni vágyókat, csak tudatosítani a veszélyt, és felhívni a figyelmet arra, hogy tegyük a helyükre a dolgokat a fejünkben! Az egymenetes kísérlet során a műanyagszigetelésű vezetéket és az életet még egy fehér műanyagcső védte, ez jól kivehető a 19. ábrán. Végleges verzió esetében praktikusan zsugorcsöve(ke)t használhatunk külső szigetelésként, mivel az olcsó, könnyen beszerezhető, kitűnő elektromos szigetelő, ugyanakkor az esetlegesen keletkező hőt is jól viseli. A kész tekercset mindenképpen jól kell rögzíteni. Végleges megoldásként semmiképpen nem kerülhet szóba szigetelőszalag, cellux, esetleg cérna vagy madzag. Alaktartó fémszalagot használhatunk, ügyelve, hogy ne keletkezzen rövidrezárt menet, mert ott aztán lesz nemulass a bekapcsolás után. A gyári megoldás nagyon impozáns, érdemes követni. Ott a tekercs két minél rövidebb kilógó végét egy kis nyáklemez furatain átfűzve és minden szálat gondosan elhajlítva leforrasztottak. A nyáklemezről már biztonságosan vezethetjük tovább a mechanikai feszültségtől mentes vezetéket. Kisebb áramok esetén már a diódát és a kondenzátort is feltehetjük a panelre, így onnan már egyenfeszültséget vezethetünk tovább. A bemutatott elv alapján már szinte bármekkora értelmes nagyságú feszültségre és áramra méretezhetünk saját tekercset. Más típusú hegesztő esetében a menetszámonkénti feszült-



20. ábra

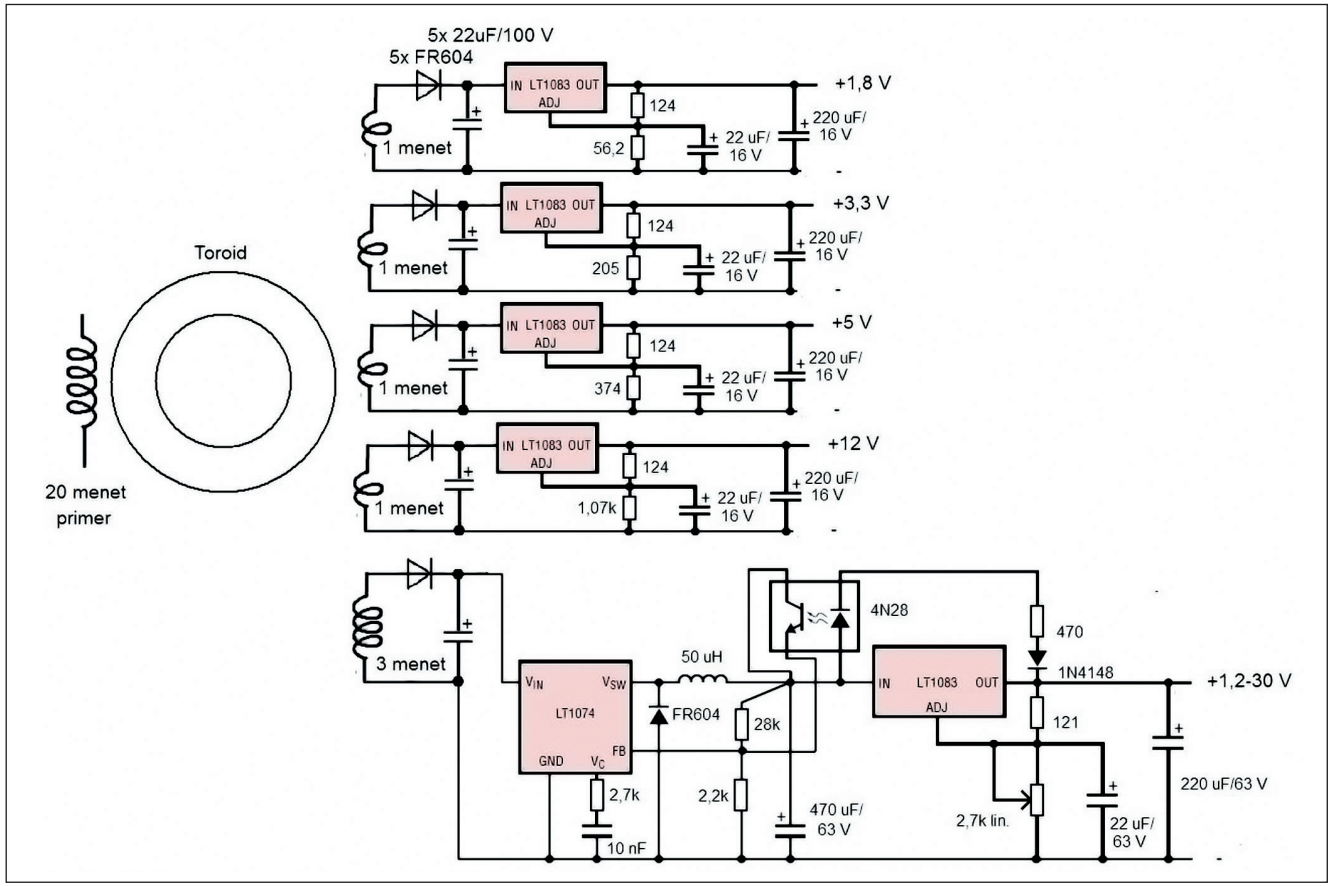
ség eltérhet, ezért mindenképpen végezzünk próbatekercselést és mérést!

Egy tekercsről két feszültség

Az 50 Hz-es hálózati trafóknál kevésbé igényes esetben működik az a megoldás, hogy egyetlen szekunder tekercsről állítsunk elő ugyanakkora pozitív és negatív feszültséget. Ehhez két diódára és két kondenzátorra van szükség. Az egy-utas egyenirányítás miatt meglehetősen brummos lesz a keletkező egyenfeszültség, de sok alkalmazásnál nem zavaró, ha kis teljesítményen szeretnénk tekercsspórolósan dolgozni. Aki használt már ilyen megoldást tapasztalhatta, hogy az így nyert +/- feszültség ágai nem zavarják egymást jelentősen. Az egyiket jól leterhelve a másik nem változik számottevően.

A **20. ábra** szerinti kapcsolást összeállítva és kipróbálva első ránézésre/mérésre minden rendben működik. Az előbbi egymenetes tekercset helyén hagyva két FR604 dióda és két 47 uF/350 V-os elkó került beépítésre. A kondenzátorok polaritására ügyeljünk, fordított beépítéssel az egyenirányított nagyfrekvencia gyorsan megsütheti őket. Mindkét kimeneten megjelent a polaritáshelyes nagyjából 13 V-os egyenszint. Egymáshoz képest rendben jelentkezett a kb. 26 V is. Az egyik kimenet és a GND közé a kedvenc autóizzót kapcsolva az hozta is a szokásos fényerőt. A másik kimenetet is hasonlóan leterhelve azonban már halványabb lett az izzók fénye. Ez érthető, mivel a kétszeres áramot már nem szereti a vékony vezeték, amiből a szekunder készült. Tanulságos viszont az, hogy csak az egyik kimenetet terhelve a másik feszültsége jelentősen megugrik. A pozitív kimenet és a GND közé kapcsolva az izzót, a negatív kimenet és a GND között csaknem 40 V mérhető. Ez mindenképpen elgondolkodtató és intő jel, hogy az 50 Hz-es megoldás nem másolható átgondolás nélkül. A kapcsolás ugyanakkor remekül használható feszültségkétszerezésre, hiszen az egy menetes szekunder tekercs segítségével két menetnek megfelelő egyenszintet sikerült létrehozni. Ez akkor lehet hasznos, ha párszáz voltos kimenetet szeretnénk, ezzel a módszerrel csak feleakkora szekundert kell készíteni.

Az eddigi kísérletekből szépen körvonalazódik, hogy lehetséges nagyon egyszerűen egy a bevezetőben említett multitápot megépíteni. Az egyszerűség abban rejlik, hogy nem kell sokat tekercselni, és az LT1083 az egyenirányítás után mindent megold. Az egyszerűsített tápegység kapcsolása a **21. ábrán** látható. A fix feszültségű csatornák megint teljesen egyformán néznek ki. Mindössze egyetlen menetnek megfelelő U alakú hurok képes ellátni elegendő árammal ezeket az áramköröket. A legfeljebb 5 A-es tervezett áramterhelés miatt pont megfelelő az FR604 egyenirányítónak. A pufferelkó mindenhol 22 uF/100 V. Itt már csökkenthetünk az elkó feszültségén, 63 V-os, esetleg 40 V-os példány is ellátja a feladatot. Az így nyert,



21. ábra

Alkatrész neve	RU4Z	FR604	C25-02C/N/D	SBL1640	IRG4PC50UD	IRF540	SFA70UP20DN
Alkatrész típusa	dióda	dióda	diódapár	diódapár	igbt	mosfet	diódapár
Folyamatos áram (A)	2	6	10	16	25	33	70
Maximális impulzusáram (A)	70	300	70	275	220	110	350
Nyitófeszültség (V)	1,3	1,3	1,3	0,57	1,2	1,2	0,96
Max záróirányú feszültség (V)	200	400	200	40	600	100	200
Tokozás	DO-201	R-6	TO-220	TO-3PN	TO-247	TO-220	TO-3PN

22. ábra

még azért zajjal rendesen terhelt nyers egyenfeszültség stabilizálására a már megismert LT1083-at használjuk. Az előbbiekben kiszámított ellenállásértékek itt is jók lesznek, hiszen ugyanazokat a kimenőszinteket szeretnénk látni. A nagyszerű ebben a formációban az, hogy az egyes csatornák egymástól teljesen függetlenek. Mivel ugyanakkora áramot képesek kiadni, ez azt jelenti, hogy tetszőlegesen kapcsolhatjuk őket sorba egymással. A 12 V-ot és a 3,3 V-ot sorbakapcsolva nyerhetünk 15,3 V-ot, de ellenkező polaritással kapcsolva 8,7 V-ot is. Így elég sokféle feszültségérték alakulhat ki, indulhat a kísérletezés.

A változtatható feszültségforrás kapcsolása sajnos nem lesz egyszerűbb, mivel az analóg stabilizátorra nem lenne célszerű folyamatosan nagy feszültséget kapcsolni. Ugyanúgy megtartottuk a kapcsolóüzemű szabályzót, de immár nem 63 V-ról, hanem csak 38 V-ról tápláljuk. Ezt három menetes szekunder tekercs adja ki a toroidon. Az előzőekhez hasonlóan egy db FR604 egyenirányít, majd egy 22 uF/100 V pufferel.

A bemutatott kapcsolások kétségtelenül meghatározó eleme az egyenirányító dióda. Az 50 Hz-es tápegységeknél megszokhattuk, hogy szinte csak egyedüli paraméterként a maximális áramot kell figyelembe venni a diódák kiválasztásánál. Gondoljunk csak bele, hogy a klasszikusnak nevezhető 1N5401 is 100 V-os típus, ráadásul szinuszos táplálás esetén nem voltak tüskék, túllövések, nagy impulzusáramok. Nem így van ez a kapcsolóüzemű tápegységeknél. Láthattuk az 5. ábrán, hogy egy nyers kimenet 30-35 V-os túllövéseket is tartalmazhat. Egy gyors kapcsolóüzemű teljesítménydiódának négy olyan paramétere van, amit a kiválasztáskor figyelembe kell venni. Az első a már ismert folyamatosan megengedett áramterhelés. A második a maximálisan megengedett impulzusáram terhelés. Ezt rövid ideig képes elviselni csak az alkatrész, nagysága viszont általában többszöröse a folyamatosan megengedhető áramnak. A lassú diódáknál a nyitófeszültség általában 0,7 V környékén van, kicsit változik az átfolyó árammal. A gyors diódák nyitása az üzemi tartományban sokkal laposabb karakterisztikát mutat. Multiméterrel vizsgálva akár 0,3-0,4 V-ot is mérhetünk, viszont a maximális áramnál felmehet akár 1,3-1,4 V-ra is. Egy 70 A-es dióda esetében ez már tekintélyes disszipációt eredményez, hűtőbordára kell szerelni. Nagyobb áramok esetén javíthatunk a helyzeten több párhuzamosan kapcsolt alkatrész beépítésével. Az áram megoszlik közöttük, a kisebb áram kisebb nyitófeszültséget és ez által disszipációt eredményez. Bár erősen karakterisztika függvénye, de könnyen előfordulhat, hogy két párhuzamos dióda fele hőt termel csak, mint szólóban tenné. A negyedik fontos paraméter a maximális zárófeszültség, ennek jó megválasztása nagyon fontos a túllövések miatt bekövetkező rejtélyes meghibásodások elkerülése érdekében. A **22. ábrán** egy táblázatban néhány gyors dióda adatait foglaltuk össze. Ezekből bátran válogathatunk építés során, kipróbált típusok. Pár wattos kapcsolásokhoz használhatjuk a RU4Z-t. A 2 A ugyan nem tűnik soknak, az impulzusáram tűrése viszont jó. 78xx elé néhány uF-os pufferrel ideális választás. Olcsó, nem kell hűtőbordára szerelni, akár még nyákba is forraszthatjuk. Az FR604 egy erős és nagyfeszültségű típus, néhány amperes tápegységekhez használhatjuk. Ez is hengeres kivitelű, nincs szüksége külön hűtésre. Nagyobb áramok esetén azért a forrasztási pontoknál alakítsunk ki a nyákon a szokásosnál nagyobb pad-eket, ezeken keresztül eleget tud hűlni. Célszerű elemelni kicsit a paneltől, szintén a jobb hűtés érdekében. A C25-02 egy általános célra nagyon jól használható típus. Paraméterei miatt már erősebb tápokban is alkalmazhatjuk. A 10 A-es folyamatos áram és a 200 V-os zárófeszültség miatt univerzális. A háromlábú TO-220 tokban két egyforma diódát integráltak, hűtőbordára szerelhető. Széles körben elterjedt és fellelhető, a PC tápok jó részében ez az alkatrész biztosítja a +12 V-os oldal egyenirányítását. Háromféle verzióban gyártják. A C25-02C jelűben a diódák katódjaikkal szembefordítva vannak, a C25-02N jelzésűben az anódok közösek, míg a „D" verzióban az egyik dióda anódja a másik katódjával alkot közös kivezetést. Az SBL1640 dióda 40 V-os zárófeszültsége miatt csak néhány voltos tápokban használható. Áramtűrése és nyitófeszültsége a kellemes tartományban van, bár hűtőbordára szerelhető, keveset disszipál. A PC tápegységekből juthatunk hozzá, neki köszönhetően áll elő az a bizonyos 5 V/20-30-40 A. A 25 A-es nagyfeszültségű kategóriában érdemes kipróbálni egy IGBT védődiódáját. Ez a dióda az emitter és a kollektor között található. Néha adódik olyan eset, hogy olyan szerencsésen megy tönkre egy alkatrész, hogy nem változik rövidzárrá az emitter-kollektor csatorna. Ekkor a szabadonfutó dióda még felhasználható, multiméterrel kimérhetjük. Szükségmegoldásként akár jó IGBT-t is használhatunk, ekkor azonban mindenképpen zárjuk össze a gate és a source lábat egy darab dróttal. Ezzel tudjuk megakadályozni, hogy nagy galibát okozva esetleg véletlenül kinyisson az alkatrész. Hasonlóan járhatunk el a MOSFET-ek esetében is. Az IRF540 egy viszonylag elterjedt típus, olcsón beszerezhető. Ha nincs más lehetőség a source és a gate összekötésével egyszerű gyors diódát varázsolhatunk belőle. A végére maradt az igazi nagyágyú, az SFA70UP20DN. Ezt építették be a vizsgált inverteres hegesztőbe. Itthon nem annyira olcsón, külföldről viszont 100-200 Ft-ért beszerezhető darabja, ha 5 vagy 10 példányt veszünk egyszerre. Meggondolandó! Csak hát, ugye erre is várni kell másfél hónapot…

Reméljük e kis ismertetővel sikerült felkelteni a kedves Olvasó figyelmét a témában. *Mindazonáltal nem lehet elégszer hangsúlyozni, működő készülékben ne matassunk kézzel, másik hegesztőt, diódát lehet venni a boltban, életet nem. Vigyázzunk magunkra a kísérletezés során!*

Felhasznált irodalom:

Hobby Elektronika 93/9 lapszám
Félvezetők gyártói adatlapjai: LT1083, LT1074, RU4Z, FR604, C25-02C, SBL1640, IRG4PC50UD, IRF540, SFA70UP20DN

Térerő-indikátorok az amatőr gyakorlatban

Cseley Alpár, HA8KT, alpcseley@yahoo.com

A térerőmérők, -indikátorok egyszerű műszerek, ám számos célra használhatók: adókészülékek mellett a kisugárzás ellenőrzésére, felharmonikusok detektálására, mobiltelefonok, ajtónyitók és egyéb rádiós távirányítók működésének ellenőrzésére. Évtizedek során amatőrök és professzionális felhasználók a térerő indikálására számos áramkört fejlesztettek ki, ezek utánépítése egy amatőr számára egyéjszakás kaland. (Reggelre már kész is van.) Az alábbi cikk ehhez nyújt támogatást azzal, hogy számos, tipikusnak hívható áramkört mutat be, a működés rövid leírásával.

Térerőmérő vagy térerő-indikátor?

A pontosság kedvéért érdemes tisztázni, hogy az elnevezések mit takarnak. Egy térerőmérő műszerrel (Field Strength Meter) az adott mérés helyén észlelhető elektromos tér erősségét lehet megmérni V/m, mV/m vagy uV/m egységekben. Ezek a műszerek kalibrálhatók, hitelesíthetők.

A térerő-indikátor (Field Strength Indicator) ezzel szemben csak a térerő meglétének, illetve erősségének az indikálására, jelzésére szolgál. Nem kalibrált, csak a térerő relatív változásainak kimutatás a célja. Még akkor is, ha mutatós, skálával ellátott műszer adja az indikálást.

A mindennapi szóhasználatban e két elnevezés keveredik (jó példák vannak erre a felsorolt irodalomban), amatőr gyakorlatban a térerő-indikátorok az elterjedtek. A térerő-indikátorok folyamatos fejlesztésének, fejlődésének trendje azonba a térerőmérők irányába mutat – elsősorban az AD8037 IC család megjelenésének köszönhetően, ami az áramkörök megépítését rendkívüli mértékben megkönnyítette. Jó példa erre a Circuit Cellar 2001 novemberi számában közölt cikkben *S. E. Nichols* írása: Measuring RF Field Strength (www.circuitcellar.com, 44-48. o). A hitelesíthető térerőmérő az Analog Devices már emlitett AD8037 integrált áramköréből és néhány passziv elemből áll, a mérési eredmények dBm-ben jelennek meg.

Hullámmérők

Az elnevezés (Wavemeter) valahol a múltban keletkezett, amikor frekvenciamérésre analóg, később „heterodyne” áramköröket, műszereket alkalmaztak és hullámhosszról beszéltek. Az analóg hullámmérők hangolható, szelektiv, hitelesített (vagy hitelesíthető) rezgőkörökkel ellátott térerő-indikátorok. Az olcsó, elterjedt digitális frekvenciamérők mellett egy egyszerű, hangolható hullámmérő (például GDO) jó szolgálatot tehet adók mellett felharmonikusok felderítésére. A Practical Wireless 2016 októberi számában rövid összefoglalás található hullámmérőkről, szelektiv detektorokról, GDO-ról (*Tony Nailer:* Alignment Aids for Home Construction, 53-54. o.).

Térerő-indikátorok fajtái

Alapvetően két típust lehet megkülönböztetni (ahogy e cikk további részeiben is):

1.) *Passzív, erősítést nem alkalmazó* áramkörre épülők. A rögzített vagy cserélhető, változtatható antennáról bejövő jel egyenirányítás után LED-del (vagy LED-ekkel), illetve analóg mutatós műszerrel kerül indikálásra. Erősítés nélkül a bejövő – általában kis szintű – jelek érzékelésére többnyire uA, esetenként mA méréshatárú Deprez-műszereket kell beépíteni. A műszer érzékenységének, méréshatárának megválasztása kompromisszum eredménye. A nagy érzékenységű (50-100 uA-es) műszer fizikailag sérülékeny és a túlterhelést sem jól tűri – viszont a térerő-indikátor érzékeny lesz. A milliamperes műszer ellenállóbb, de az indikátorunk érzéktelenebb lesz. Adókészülék mellett használva az antenna hangolása során a térerő hirtelen úgy megváltozhat, hogy az érzékeny műszert végkitérésbe viszi, illetve a méréshatárán túl terheli (ameddig a műszer tönkre nem megy). Itt tehát szükség van hatékony érzékenység-szabályozásra – ami legtöbb esetben egy potméter –, illetve a műszer túlterhelésének áramköri megoldással történő megakadályozására.

2.) *Erősítést alkalmazó áramkörök.* Az indikátor érzékenységének növelésén túl erősítő beépítése lehetőséget nyújt az indikátor műszerének hatékony védelmére. Sőt, a műszeres kijelzés mellett hang-, illetve fényjelzés kialakítására is. Mivel egy térerő-indikátor segédeszköz egy amatőrállomáson, többnyire meglévő alkatrészekből készültek, készülnek. Az integrált áramkörök megjelenésével az indikátorok felépítése leegyszerűsödött (ld. majd 35. ábra), ugyanakkor ez egyes építőket, amatőröket további funkciók beépítésére ösztönöz [26].

Ha idő és az alkatrészellátás (-készlet) engedi, akkor természetesen erősített indikátor áramkört célszerű megépíteni, elsősorban IC-s erősítővel. Az egytelepes táplálás alapfeltétel. Azt azonban mindenkinek magának kell eldöntenie, milyen funkciókra van szüksége, milyen egyszerű vagy összetettebb áramkört épít meg. Jelen cikk példákon mutat be tipikus térerő-indikátor áramköröket – a teljesség igénye nélkül. Az áramköröket az egyszerűtől a bonyolultabb felé haladva rendszerezi, a mikroprocesszoros beszélő indikátorral zárva a felsorolást.

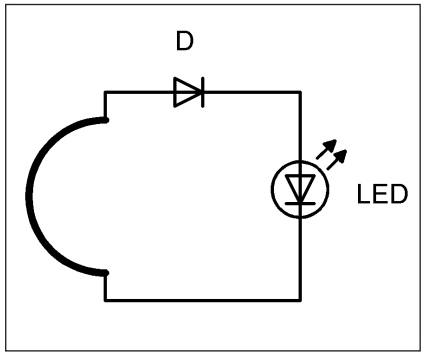
Passzív térerő-indikátorok

1. ábra

Az elképzelhető legegyszerűbb indikátor: az RF Sniffer [1] szerint mindössze 3 alkatrészből áll:

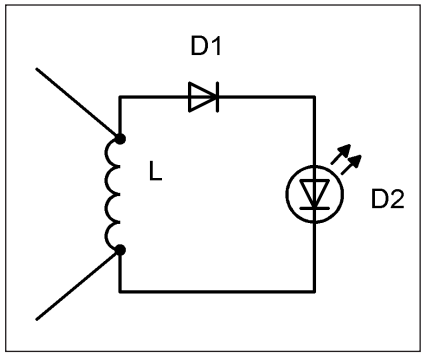
– antennahurok, 12 cm-es kerülettel (1 mm-es huzalból),
– UHF demodulátor dióda,
– kisáramú LED (2,5 mA).

A kísérletezések során az 1N35 (párba válogatott 1N34-ek; Sylvania, USA) aranytűs Ge-dióda 430 MHz-ig jól mű-



1. ábra

ködött, de e felett az érzékenysége nullára csökkent. Egy másik, az 1N21 S-X sávú mikrohullámú keverődióda jól működött 2,4 GHz-en is, de a kísérletezés során kiégett. Legjobban az olcsó Toshiba 1SS315 UHF Schottky barrier



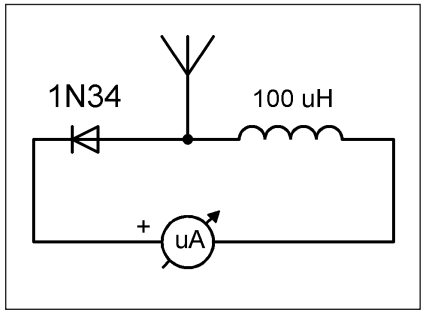
2. ábra

dióda (SOD-323, SM) vált be, és várhatóan megfelelő 3 GHz-ig. Ez a dióda beszerezhető, megrendelhető az ebay.co.uk weboldalon.

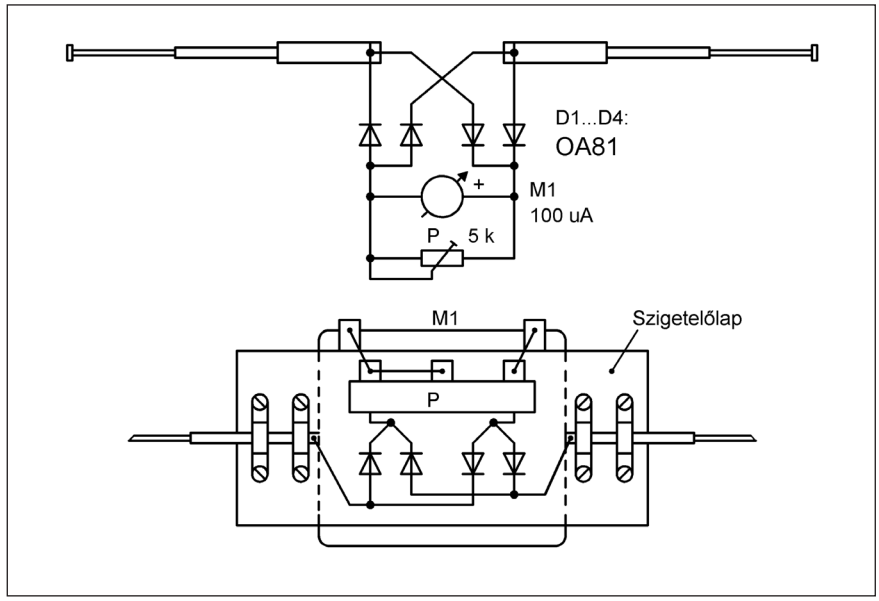
A készülék (áramkör) mobiltelefon adásának észlelésére készült. Az antennahurkot a bekapcsolt, összeköttetésben levő telefonhoz érintve a LED világított.

2. ábra

A szélesebb RF spektrum detektálására továbbfejlesztett változat sem sokkal



3. ábra



4. ábra

bonyolultabb [1]. Ennél két 28 mm hosszú huzaldarab szolgált antennául, a 9 menetes tekercs 1 mm-es huzalból, 28 mm-es átmérővel, 40 mm hosszúságú. A demodulátor egy 1N34 UHF dióda volt. A szerző, *Igor Grigorov* (VA3ZNW) az idézett cikkben beszámol különböző mikrohullámú diódákkal kapcsolatos tapasztalatairól.

3. ábra

A [2] szerzője egyszerű, de a relatív térerő érzékelésére sokkal alkalmasabb műszeres indikációt javasol. Ez sem egy túl bonyolított kapcsolás a 3 alkatrésszel: – demodulátor dióda (1N34), – fojtótekercs (100 uH), – indikátor műszer (uA mérő).

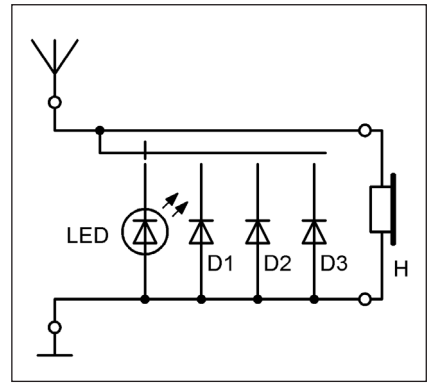
Valójában ez a kapcsolás inkább az elv szemléltetésére alkalmas, mint tényleges mérésekre (érzéktelen, nincs erősítés szabályozás). A dióda a megadott kapcsolásban szintén 1N34 Ge-dióda, az előzőekben említett 430 MHz érzékelési küszöbbel.

4. ábra

Az RT 1993/5. száma két térerőmérőről közöl leírást [3]. A cikk minimális számú alkatrészből megépíthető passzív, szélessávú, állítható botantennákkal felszerelt indikátort ismertet a Practical Wireless 1993/2. számában megjelent cikk alapján. A dipólantenna jelét egy Graetz-hídba kötött (OA81, AA…, OA…, 1N34, D9B) Ge-dióda négyes egyenirányítja, a jelnagyságot egy 100 uA-es műszer mutatja. Az érzékenység a műszerrel párhuzamosan kötött 5 kohmos potenciométerrel szabályozható. Két teleszkópantennájával iránymérés is lehetséges.

5. ábra

Vannak konstruktőrök, akik a LED-indikációs megoldásokat kedvelik. Ilyen az 5. ábrán látható, már relatív RF szintek indikálására is alkalmas kapcsolás [5]. A detektoros AM-rádió/-

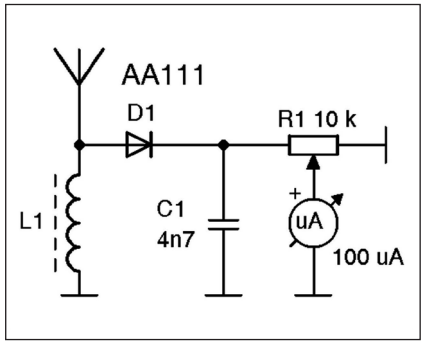


5. ábra

indikátor a LED-en kívül beépített 3 diódaág (D1: 2×Si sorosan, D2: 1×Si, D3: 1×Ge) átkapcsolásával, ill. a LED fényerejének segítségével a különböző nagyságú AM RF-jelek összehasonlíthatók a kapcsolás indikátorrészét képező (fej-)hallgatón. A nagyon gyenge AM-jel csak a D3-mal észlelhető.

6. ábra

Az itt látható áramkör már tartalmaz érzékenység szabályozást a 100 uA-es műszer megkímélésére. Az antenna egy induktivitásra dolgozik, ami szélessávú



6. ábra

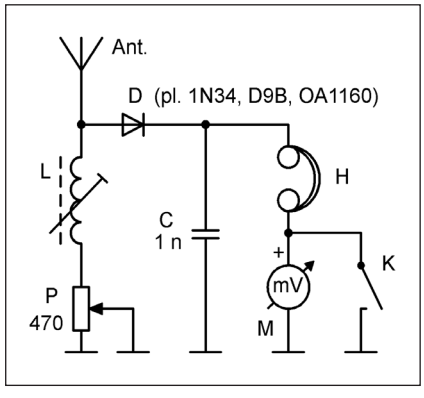
fojtótekercsként szolgál. Az AA111, ill. bármilyen más típusú germánium jeldióda (1N34, OA1154, OA1160, D9B) alacsony nyitófeszültsége (0,2-0,35 V) pedig kis jelszintek indikálását is lehetővé teszi [6].

7. ábra

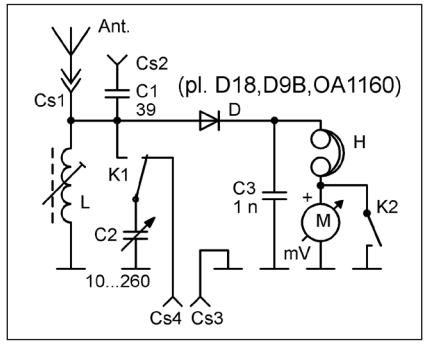
Az antennaparaméterek méréséről közölt cikk [7] két szelektív térerőmérőt is ismertet, amelyek alkalmasak KH- és HH-antennák veszteségi ellenállásának és kapacitásának mérésére. Ezek tulajdonképpen már inkább a hullámmérő kategóriába tartoznak. A 7. ábra szerinti áramkör egy egyszerű diódás vevő, amelyben egy millivoltmérő és a P potenciométer segítségével (a cikkben leírtak szerint) az antenna veszteségi ellenállása meghatározható. Rövidre zárással a mV-mérőt ki lehet iktatni, a csatlakoztatott fejhallgatóval a demodulált jel meghallgatható.

8. ábra

A potenciométert forgókondenzátorra cserélve (8. ábra) az antenna kapacitása meghatározható. Ez a műszer – elvét tekintve – inkább hullámmérő, antennamérő eszköz. A ferritantenna hangolásával a műszer szelektív térerő-indikálást tesz lehetővé. Demodulátorként germánium jeldiódát célszerű hasz-



7. ábra



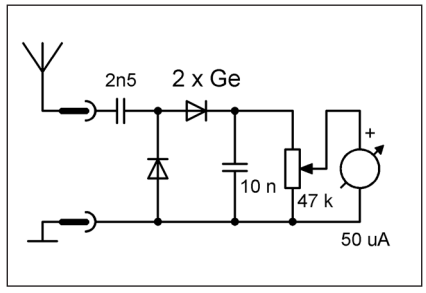
8. ábra

nálni (pl. a közismert OA1160-t vagy 1N34-t).

9.ábra

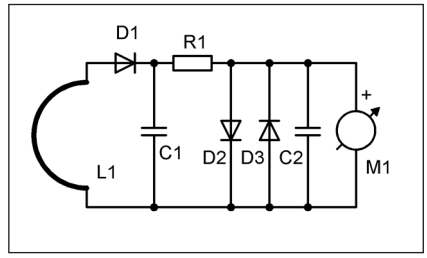
A FUNK magazin ismerteti az Annecke GmbH (*Alfred Annecke*, DJ6OO) német cég által forgalmazott térerőmérőt [8]. Nem állíthatjuk, hogy ez egy túlbonyolított megoldás: antenna, feszültségkétszerező egyenirányítás, érzékenység szabályozó potméter –, amire minden bizonnyal szükség van az érzékeny, 50 uA-es műszer miatt.

Az áramkört először *Peter Parker* (VK3YE) írta le az Amateur Radio 1997 áprilisi számában [9], kissé eltérő



9. ábra

elemértékekkel. A Peter Parker, ill. Alfred Annecke által konstruált térerőmérőhöz hasonló áramkört ismertet *Karl H. Hille* (DL1VU). A kapcsolás nem tartalmaz különleges megoldást, az eltérés az Annecke műszeréhez képest az áramkör elemeinek értékeiben és a 250 uA-es műszert áthidaló 10 nF-os kondenzátorban van. A szerző a műszer dobozának tetejére SO-239 (UHF) csatlakozóaljat szerelt, így különféle antennákat lehet csatlakoztatni hozzá (pl. banándugóval). Antennaként kerékpárküllőt ajánl, az Annecke műszerrel szállított hajlékony, PVC bevonatú rézhuzal helyett. Összehasonlító mérésekhez vízszintes numerikus skálával ellátott 50 uA-es műszer használata célszerűbb, mint az ívskálásé – írja a szerző.



10. ábra

10. ábra

Gyakorlottabb konstruktőrökben felmerül a beépített műszer túlterhelés elleni védelmének szükségessége. A Deprez-rendszerű, érzékeny alapműszerek a térerő-indikátorok kényes és legdrágább alkatrészei. Az előzőekben ismertetett, 1. ábra szerinti áramkör 10. ábrán látható változata már tartalmaz túlterhelés elleni védelmet az indikátor műszerének védelmére [1]. A konstruktőr *Igor Grigorov* (VA3ZNW) antiparalel 1N4004 Si-diódákkal (D2, D3)söntöli a műszert túl nagy jelek esetére.

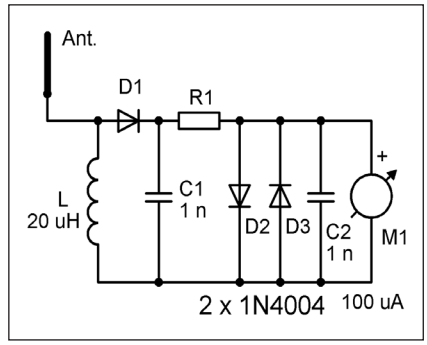
A védődiódák típusának (nyitófeszültségének) összhangban kell lennie a műszer érzékenységével (belső ellenállásával), azaz a végkitérést okozó feszültség nagyságával. A demodulátor az 1. és 2. ábrán bemutatott áramkörökéhez hasonlóan UHF Ge detektor jeldióda. Az áramkörben lévő kondenzátorok 1 nF értékűek, a műszer 100 uA-es.

11. ábra

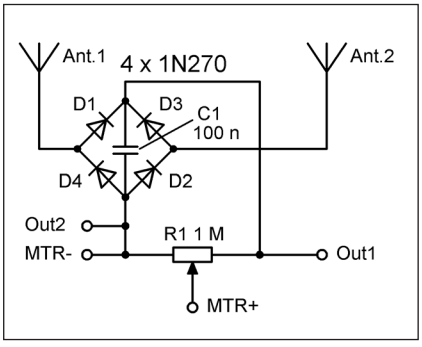
A szerző [1] a térerő-indikátor továbbfejlesztésénél a hurokantennát 20-60 cm teleszkóposra cserélve – egy 20 uH-s fojtótekercset sorosan hozzáadva – a készüléket alkalmassá tette szélesebb frekvenciasávban történő indikálásra.

12. ábra

Az MFJ Enterprises [10] iránymérésre (is) alkalmas MFJ-802B térerőmérője



11. ábra



12. ábra

két 38” (96,5 cm) hosszú botantennáról veszi a jeleket. Négy 1N270 (1N34, D9B OA1154 stb.) dióda alkotta feszültségkétszerező hídról a feszültség érzékenység szabályozó potméter után kerül az indikátor műszerre (MTR kapcsok). 6,25mm-es (1/4”) Jack-(hangfrekvenciás) dugóval csatlakoztatható az MFJ-802R külső (távolra kihelyezhető) érzékelő (Out1 és Out2 pontokon), ami a műszer és az (R1 = 1 Mohm) érzékenység szabályozó potméter kivételével megegyezik a 802B egységgel.

13. ábra

szerinti passzív térerő-indikátor [6] bemenő oldalán átkapcsolható tekercskészlet (L1-L10) szolgál szelektív mérésre, a felharmonikusok és/vagy interferencia-, zavarjelek kiszűrésére. A demodulátorrész a már szokványosnak tekinthető Ge jeldióda (AA111, 1N34, D9B), 10 kA (lineáris) potméter, 100 uA indikátorműszer, szűrőkondenzátor összeállítású.

Aktív térerő-indikátorok

A térerő-indikátorok érzékenységének növelésére két alapvető módszer létezik, amelyeket együttesen is lehet alkalmazni:

– nagyfrekvenciás előerősítés;
– az egyenirányított jel erősítése.

Az egyenirányító (demodulátor) előfeszítése, nyitásba vitele kis jeleknél növeli az indikátor érzékenységét, ezt passzív áramköröknél is célszerű alkalmazni (még detektoros rádióknál is).

14. ábra

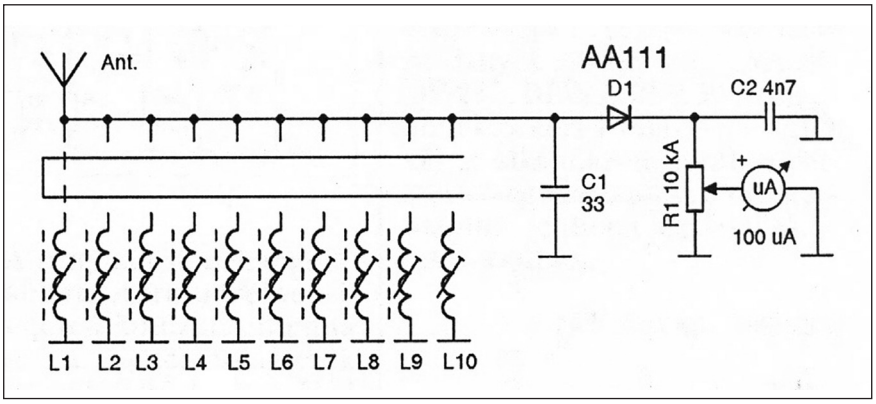
Az MFJ-801 térerő-indikátor alapkapcsolásnak tekinthető: az antenna jelét egy MPF102 (vagy BF244, BF245, 2SK168D stb.) jFET detektálja és erősíti fel a néhányszor tíz mikroamper érzékenységű Deprez-műszer számára. Az indikátor a 9 V-os rádióteleppel és ki/be kapcsolóval együtt – a készülék dobozát nem számítva – 5 elemből áll. Nincs érzékenység szabályozás, a készülék használatánál erre ügyelni kell! [10]

15. ábra

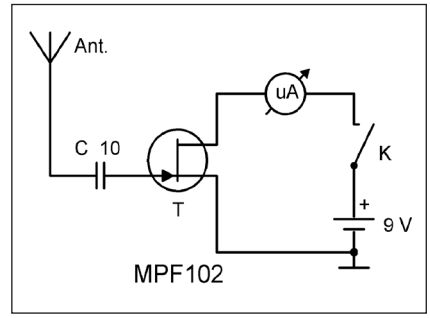
G4RAW aktív, szélessávú térerősségmérőjében az egyenirányított jel erősítését egy 2N3819 típusú jFET végzi, ahol a műszer kitérését – az érzékenységet – a source-elektróda előfeszítésével lehet beállítani [11].

16. ábra

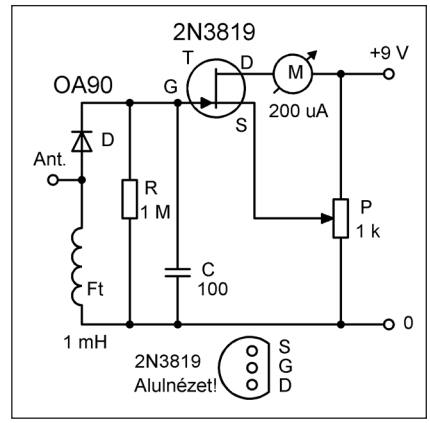
szerinti áramkör 1,5 V-os tápfeszültséget igényel, azaz 1 db AA-, vagy AAA-elemet. Ez gazdasági szempontból kétségkívül előnyös, de csak csökkentett erősítést tesz lehetővé [2]. Javít az érzékenységen és szelektív mérést tesz lehetővé, hogy az antenna hangoltkört táplál. A kollektorkörbe iktatott műszer söntölésével lehet a műszer kitérését csökkenteni nagy indikált jelszint esetén. A D szokásosan bármely típusú Ge jeldióda, a pedig T bármely kisjelű pnp tranzisztor (pl. a Ge AC125, OC1070, vagy esetleg a Si BC212B, BC308B, BCY78).



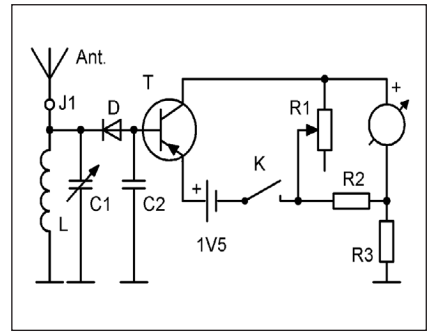
13. ábra



14. ábra



15. ábra

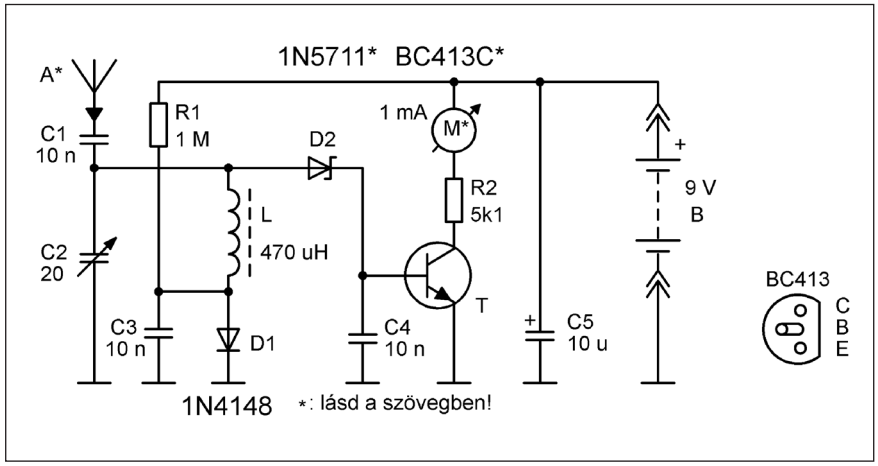


16. ábra

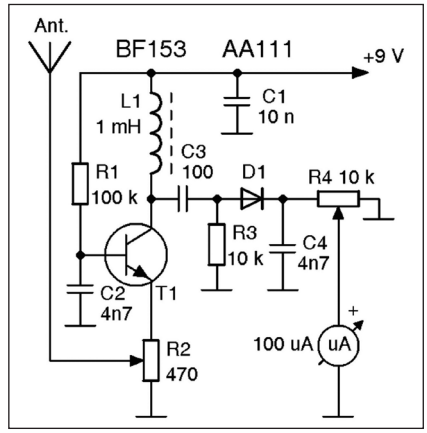
17. ábra

Az indikátorkörében dolgozó tranzisztorral erősíti az egyenirányított nagyfrekvenciás jelet az RT 2018/3. számában „Térerő-indikátor” c. cikkben ismertetett áramkör [12]. Az ábrán látható hangolt bemenőkör miatt ez a kapcsolás inkább már hullámmérőnek tekinthető. Az antennát hangolt körre csatolva az érzékenység növekszik az észlelés szelektivitása mellett.

A demodulátor Schottky diódát (1N5711) nyitáshoz közeli állapotba (V_f = 0,41 V), ún. éheztetett üzemmódba viszi az R1-D1 együttes (1 Mohm és 1N4148 Si-dióda) által előállított 0,65 V előfeszültség, amely a tranzisztor B-E nyitófeszültségét is



17. ábra



18. ábra

kompenzálja. A demodulálással kapott egyenfeszültség erősítésére egy nagy bétájú BC413C npn Si-planár tranzisztor (h_{FE} = 380...800) szolgál a kollektorkörébe iktatott 1 mA-es műszerrel. A műszer érzékenységét a bemenő kör elhangolásával lehet beállítani. Az alkalmazott 1 mA Deprez-műszer toleránsabb a túlterheléssel szemben, mint a kapcsolások többségében szereplő 50…250 uA-es érzékenyebb méréshatárúak.

Az idézett cikk eligazítást ad a használható tranzisztor és a diódák típusát illetően. Nevezetesen: kiszajú, nagy bétájú npn tranzisztort ajánl az eredeti helyett (BC413C, BC549C, BC 239C). A D1 jelű 1N4148 helyett bármely Si univerzális kapcsoló dióda használható (N125, BA243, BA283, 1N914, 1N4154) A D2 gyorskapcsoló Schottky dióda helyén például az ST Microelectronics gyártmányú ST 1N5711, 1N6263 vagy a Philips BAT81, BAT54S is használható.

18. ábra

Hangolatlan antennakör és nagyfrekvenciás erősítés jellemzik az áramkört. Az antenna jele egy – az érzékenység szabályozására szolgáló – potméterre kerül, ami a BF153 Si npn nagyfrekvenciás (300 MHz) erősítő tranzisztor emitterében van. A kollektorkör aperiodikus (fojtótekercscsel), a detektorkör eléggé egyszerű: az AA111 Ge-diódája nem kap előfeszítést. A 100 uA-es műszerre kerülő egyenfeszültség egy potméterrel leosztásra kerül – a műszer kitérését korlátozandó. A kapcsolásban így kettős érzékenység-szabályozás dolgozhat, ami egyrészt érthető a nagyfrekvenciás jelszint leosztása a „telítéses” torzítás elkerülésére végett, másrészt viszont kissé körülményessé teszi a műszer kezelését [6].

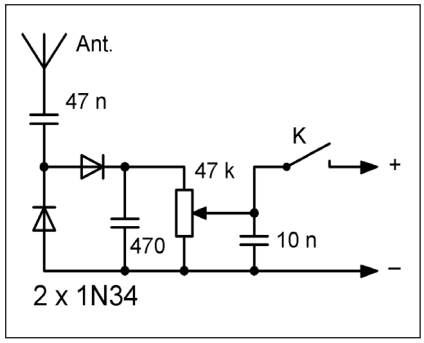
19. ábra

Ez az áramkör a digitális mérések kedvelői számára javasol egyszerű megoldást [13]. A demodulátor feszültségkétszerező diódapárral (az ismerős 1N34-gyel) felépített és érzékenység szabályozás közbeiktatásával csatlakoztatható egy digitális multiméter bemenetére. A térerő indikálása a multiméter „mV” vagy „V” állásában történhet. Az egész áramkör akár beépíthető a multiméter házába.

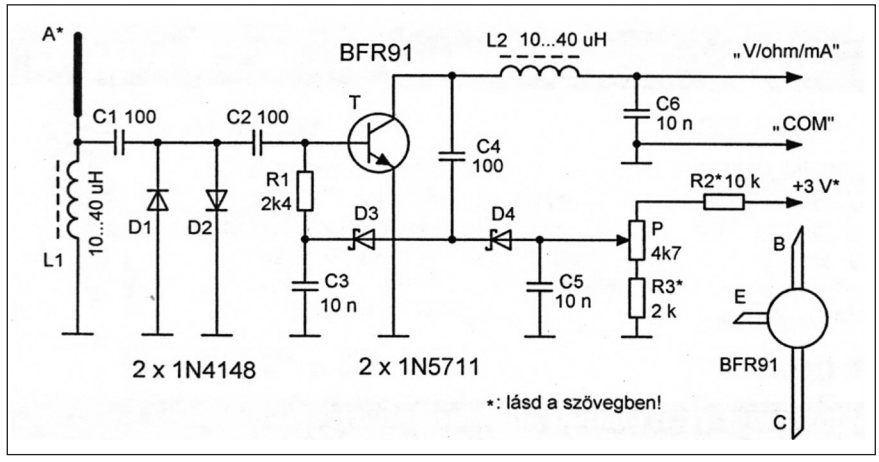
20. ábra

Egy további térerő-indikátor műszerelőtét leírását közli [14] a Ragyio 2006/8. cikke alapján. Egy V/ohm/mA mérésére alkalmas digitális műszer előtétjeként használható áramkör – beállítástól függően – egy bizonyos bemenő jelszint észlelésekor a műszer szakadásmérő áramkörének hangjelzését megszólaltatja.

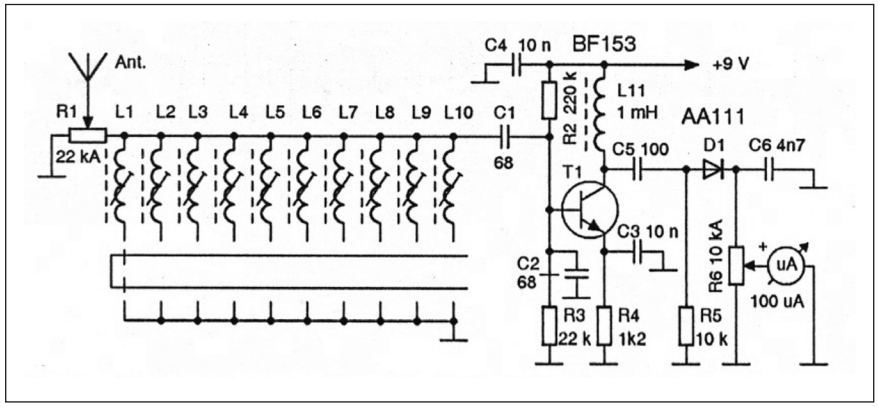
Az áramkör hangolatlan bemenetén antiparalel 1N4148 diódák védik a BFR91 (vagy pl. BFR96TS) típusú npn nagyfrekvenciás tranzisztorral felépített erősítőt. Az érzékenységet fokozza, hogy az alkalmazott UHF nagyfrekvenciás tranzisztor „reflex” kapcsolásban mind a nagyfrekvenciás, mind az egyenáramú jelet erősíti. Méréshez a multimétert szakadásmérés módba kapcsolva hangjelzés jelzi a tranzisztor bázisáramának növekedését, azaz a kollektor-emitter kör ellenállásának 1 kohm alá csökkenését.



19. ábra

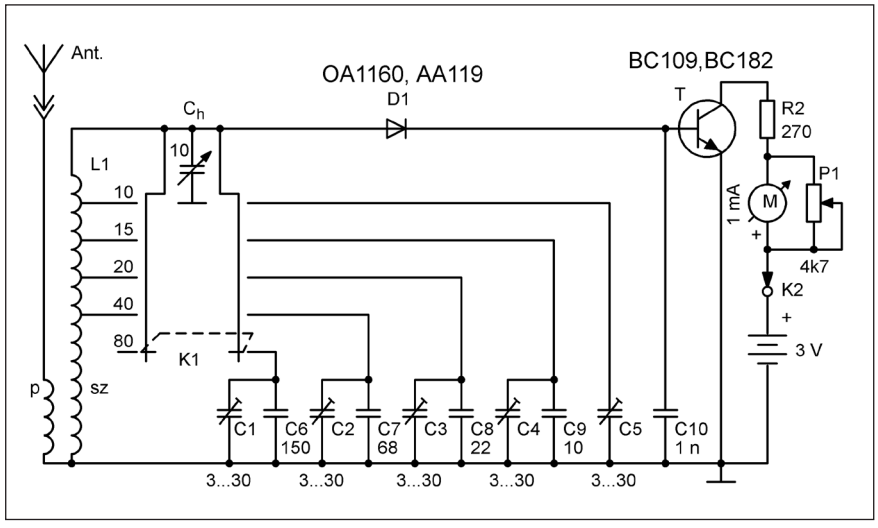


20. ábra



21. ábra

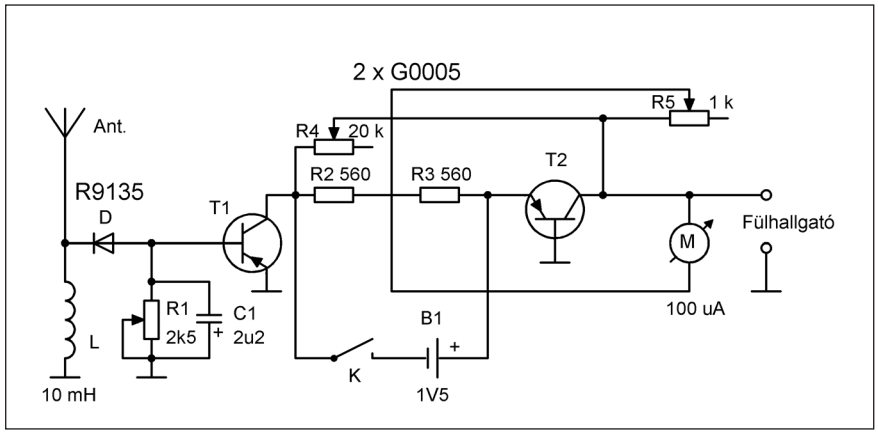
Az előtéthez szükséges +3 V feszültséget a digitális műszer tranzisztorvizsgáló kimenete biztosíthatja. A tranzisztor az előfeszítő bázisáramot egy szabályozó ellenállás-potméter láncból két 1N5711 Schottky-diódán keresztül kapja. A cikk [14] részletesen leírja az áramkör működését, elkészítését (nyák-rajzzal), beállítását és használatát.



22. ábra

21. ábra

A kapcsolásban potenciométeres előosztás után a 10 db RH amatőrsávra átkapcsolható rezgőkörök teszik lehetővé a térerő frekvencia-szelektív indikálását. A [6]-ban leírt áramkör a kiválasztott frekvenciát egy BF153 (vagy pl. BF241, BF199, BFY90, BFW30) nagyfrekvenciás tranzisztorral erősíti, és a kapott jelet diódás (AA111 vagy 1N34, D9B, OA1154) egyenirányítás után 100 uA-es műszerrel méri. A tranzisztor előfeszítő bázisáramát ellenállásos osztón át kapja a 9 V tápfeszültségből, az erősítő stabilitását negatív visszacsatolás biztosítja. Az AA111 diódás demodulátort követő potméteres érzékenység szabályozóval lehet a műszer (vég-)kitérését beállítani.



23. ábra

22. ábra

Induktív antennacsatolás és átkapcsolható, hangolható tekercs + kondenzátorrendszer gondoskodik a 10, 15, 20, 40 és 80 m-es amatőrsávokban megfigyelendő jelek kiszűréséről ennél az áramkörnél [15]. Megfelelő skálázás és hitelesítés után hullámmérőnek is nevezhetnénk (például felharmonikusok felderítésére). A demodulálást OA160, AA119 vagy hasonló Ge dióda (OA1154, 1N34, D9B) végzi, az egyenirányitott jel BC109, BC182 vagy hasonló (BC546B, BC548B, BCY58) npn tranzisztorral felerősítve jut egy 1 mA érzékenységű műszerre. A műszer kitérése (az érzékenység szabályozása) a műszert áthidaló lineáris potenciométerrel végezhető.

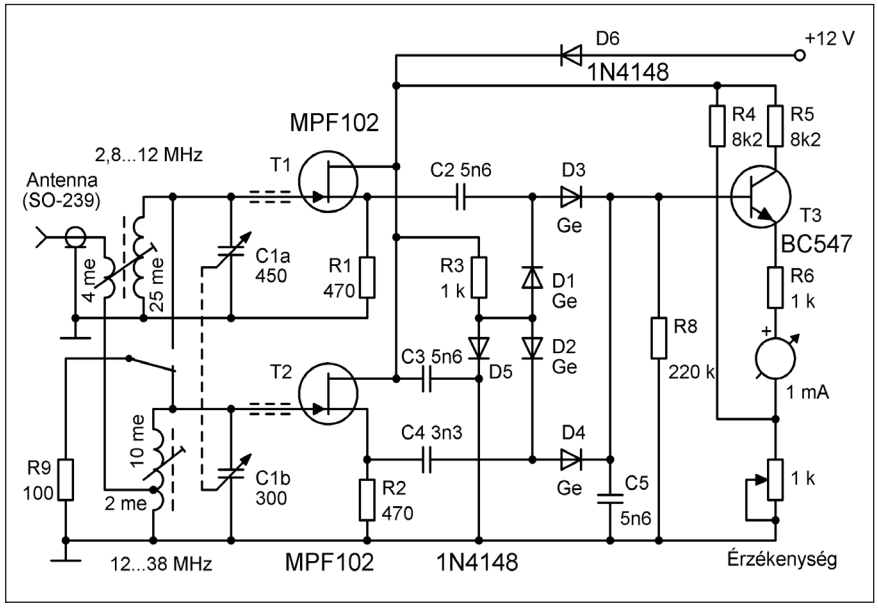
23. ábra

A szélessávú bemenetről érkező jelet diódás detektálás után kéttranzisztoros erősítő követi és illeszti a 100 uA műszerhez. Az áramkörben erősítés (R1, GAIN), érzékenység (R5, SENSITIVITY) állítására és nullázásra (R4, ZERO ADJ) van lehetőség, ami a kezelhetőséget bonyolítja. A tranzisztorok old timer Ge-kisjelűek (Motorola HEP G0005), a demodulátor szintén Ge-alapú jeldióda (HEP R9135). A készülékhez fülhallgató is csatlakoztatható.

Az áramkör működésének megfejtése az érdeklődő amatőrtársakra vár.

24. ábra

Ezt a szelektív, hangolható előkörrel ellátott és nagyfrekvenciás erősítéssel dolgozó térerő-indikátort talán helyesebb lenne hullámmérőnek nevezni [16]. Két azonos, a 2,8 ...12 MHz-re és a 12...38 MHz-es tartományra átkapcsolható jFET-es nagyfrekvenciás erősítői Ge jeldiódákkal felépített



24. ábra

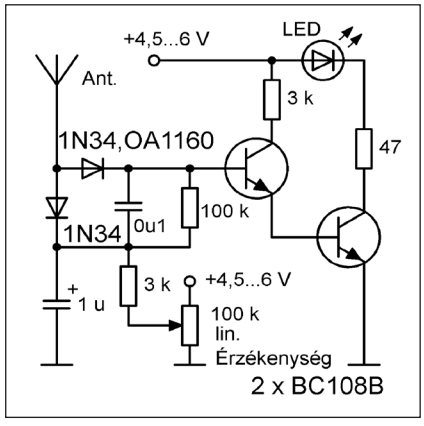
feszültségkétszerező demodulátorokra kapcsolódnak. A demodulált jelet egy további npn kisjelű tranzisztor erősíti az 1 mA-es Deprez-műszer meghajtására.

Az áramkör 12 V-ról működik, a fordított polaritás ellen 1N4148 (D6) dióda nyújt védelmet. Egy további 1N4148 (D5) szolgáltat nyitófeszültséget a Ge diódák számára. Az áramkör érzékenysége a műszerrel sorbakötött potméterrel szabályozható, bonyolultság ellenére nem nyújt védelmet a műszer túlterhelése ellen. A készülék hátrányának mondható a 12 V-os táplálás.

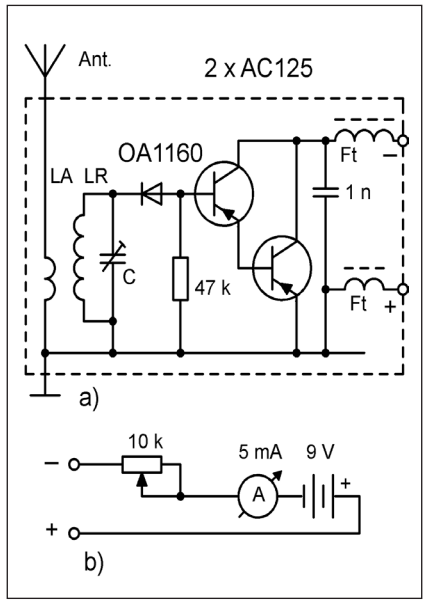
A T1 és T2 BF244, BF247C, 2SK168D, J211A-val, a T3 BC182B, BC546B, BC548B, BCY58-cal, a D1 és D2 1N34A, D9B, OA1154-gyel helyettesíthető. A forgókondi öreg, szuper rendszerű műsorvevő kettős forgója lehet, a tekercsek menetszám és leágazás arányai legyenek irányadók az utánépítésnél.

25. ábra

Ez a szélessávú kapcsolás a bemenőjel szintjének észlelésére LED-et alkalmaz [17]. Feszültségkétszerező egyenirányítás (1N34, OA1160, OA1154, D9B) után egy nagy bemenőellenállást mutató kéttranzisztoros (BC182B, BC546B, BC548B, BCY58) emitterkövető kapcsolás nagy érzékenységet biztosít. Az érzékenység az áramkör első tranzisztorának előfeszítésével szabályozható.



25. ábra



26. ábra

26. ábra

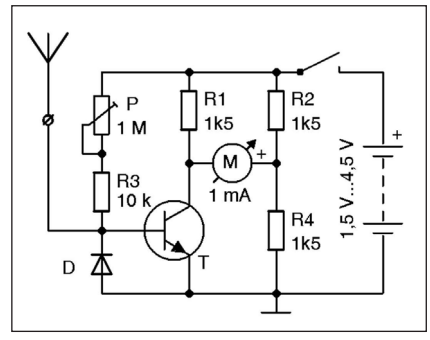
URH antennák beméréséhez szelektív térerőmérő leírását közli a [18], a Radio Communication 1973/1. G8DLY cikke alapján. A kisjelű hangfrekvenciás pnp tranzisztorokkal felépített Darlington-erősítő áramát mérő műszer és az érzékenységet szabályozó potméter az alapáramkörtől távolabbra is elhelyezhető. Ezáltal lehetővé válik URH antennák forgatásával az iránykarakterisztika felvétele a távolabbra kihelyezett érzékelő résszel.

A Ge tranzisztorok pl. AFY12, MP14, MP26, MP42-vel helyettesíthetők. Szilícium tranzisztorok használata esetén (BC212B, BC308B, BCY78) lecsökken a műszer érzékenysége, lévén a Si tranzisztorok kb. 2·0,6 V = 1,2 V-nál nyitnak ki.

27. ábra

Számos térerő-indikátor hídáramkört tartalmaz, mint például ez a kapcsolás is. Az RT Évkönyv SKK-rovatában „Egyszerű térerősség-indikátor” címmel [19] ismerteti a kapcsolás működését. A P trimmer-potenciométerrel kiegyenlített hidat az antennáról érkező nagyfrekvenciás jel egyenirányítás (AA111, OA1154, D9B) után az npn kisjelű univerzális tranzisztort (BC108, BC182B, BC546B, BC548B, BCY58) nyitásba igyekszik vezérelni. Ettől a keresztágban lévő – viszonylag érzéktelen – 1 mA-es műszer kitérése növekedni fog. A tranzisztor előfeszítését (nyitását) a P trimmerrel szabályozva lehet a műszert nullázni. A műszer maximális kitérése egyrészt a híd fix ellenállásaitól, másrészt az alkalmazott műszer belső ellenállásától és a telepfeszültségtől is függ. A készülék táplálásához 1,5…4,5 V szükséges (ajánlott).

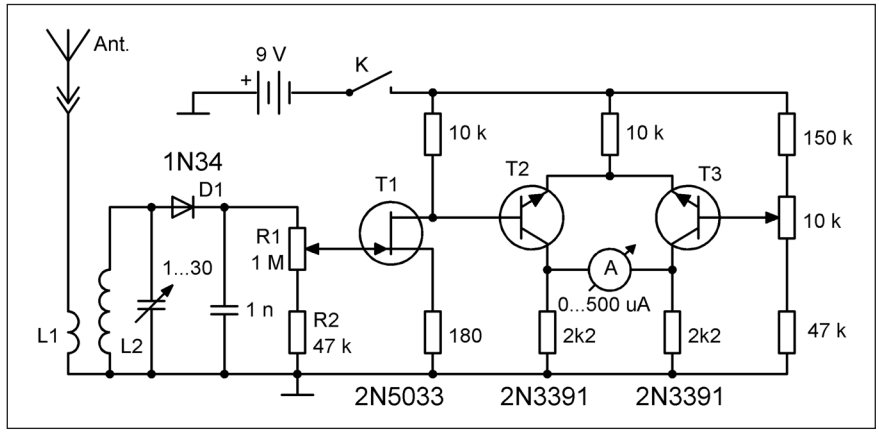
Az RT idézett cikke tulajdonképpen az amerikai irodalomban található (WA3SWS-től származó) aktív térerő-indikátort ismerteti [20].



27. ábra

28. ábra

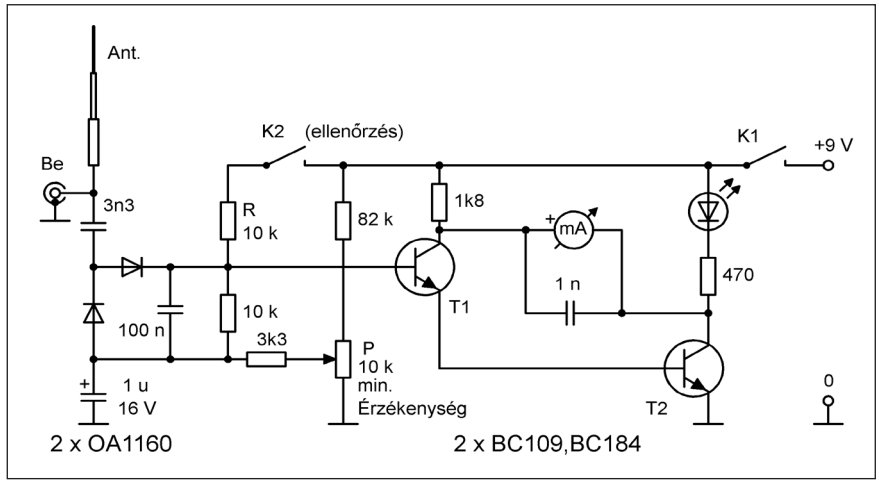
A Wheatstone-híd két elemét is tranzisztorból képezve a keresztágba kötött műszer nullázható. A 28. ábrán látható elrendezés jellemzői az induktív antennacsatolás egy hangolható rezgőkörhöz, és az 1N34-gyel (AA111, OA1154, D9B) egyenirányított jel erősítése a 2N5033 jFET-tel (BF244, BF247, 2SK168D, J211A). Ez utóbbi vezérli a híd egyik ágát képező npn tranzisztort. A hídban egy további npn tranzisztor bázisa feszültségosztóról kapja a szabályozható előfeszítést a műszer nullázása céljából. Az 500 uA-es műszer a két kisjelű, univerzális tranzisztor (BC182B, BC546B, BC548B, BCY58) kollektora közötti feszültségkülönbséget méri.



28. ábra

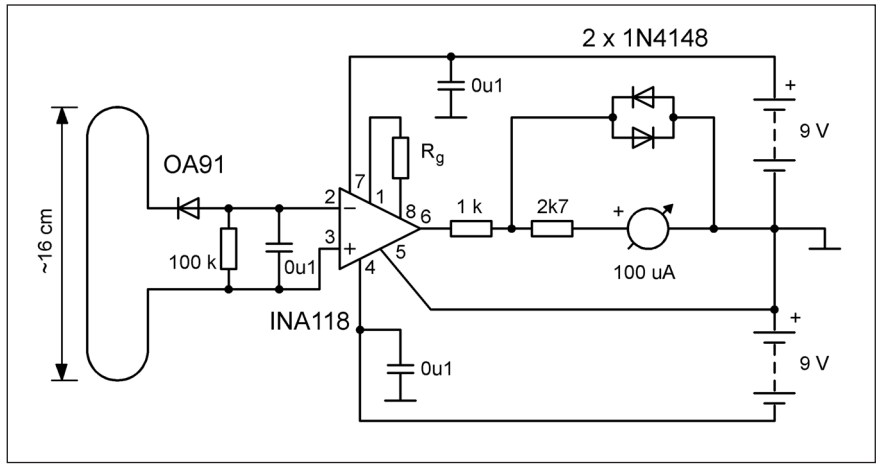
29. ábra

Emitterkövetőket alkalmaz ez a térerőindikátor [21]. A T1 és T2 npn univerzális tranzisztorok (BC109, BC182, BC546, BC548 vagy hasonlók) teljes nyitásba vezérlése esetén a műszeren 5 mA áram folyna át, ezért az alkalmazott műszer 5 mA-es. A tranzisztorok telítésbe vezérlése után maradó kollektor-emitter ellenállás ezt az áramot kissé csökkenti: a megépített műszer max. kitérése valamivel 5 mA alatt maradt. Ha szükséges, a végkitérés a T1 tranzisztor kollektorköri ellenállásának változtatásával állítható be. (A mintapéldány a rajzon feltüntetett 1,8 kohm értékkel helyesen korlátozza a műszer végkitérését 9 V telepfeszültségnél.)



29. ábra

Az érzékenység szabályozása a Ge jeldiódák (AA111, OA1154, D9B) előfeszítésével és egyúttal a T1 tranzisztor munkapontjának tologatásával történik. Teljesen felcsavart érzékenységállásban a műszer mutatója elmozdul nulláról, de nem jelentős vagy zavaró mértékben. Az áramkör tartalmaz egy „ellenőrzés” nyomógombot (K2), amely megnyomásakor akkora pozitív feszültséget ad a T1 bázisára, hogy azt telítésbe vigye. Ennek következtében a T2 is kinyit és a műszer max. végkitérést mutat. A T2 kollektorkörébe iktatott LED a műszer max. végkitérése közelében világítani kezd, végkitérésnél teljes fényerővel. Így a világító LED nagy indikált térerőt, a műszer max. kitérését, esetlegesen a túlterhelését is jelzi.

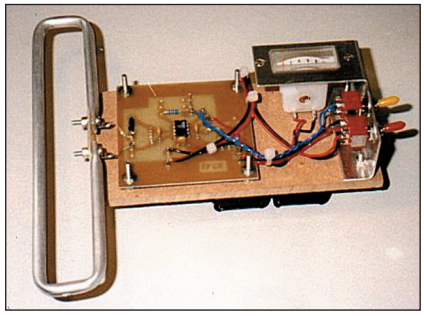


30. ábra

30-31. ábra

Mobiltelefonok működésének ellenőrzéséhez készült a 30. (és 31. ábra) szerinti készülék [22]. Az antenna kb. 16 cm-es hurokdipól, a jel innen OA91 diódás egyenirányítás után egy precíziós műveleti erősítő hármast tartalmazó Burr-Brown IC bemenetére kerül. Az IC erősítése egy ellenállással (R_g) állítható be 1 és ×1000 közé. Ellenállás beiktatása nélkül az erősítés egységnyi, más erősítéshez a G = 1 + 50/R képletből kiszámított ellenállás szükséges: R_g = 50/(G - 1), R kohmban.

A 100 uA-es indikátorműszer védelmére egy előtétellenállás (2,7 kohm) és egy antiparalel (1N4148) diódapár szolgál. A műszer belső ellenállását 300 ohmnak feltételezve, az előtétellenállással sorosan ez 3 kohmot



31. ábra

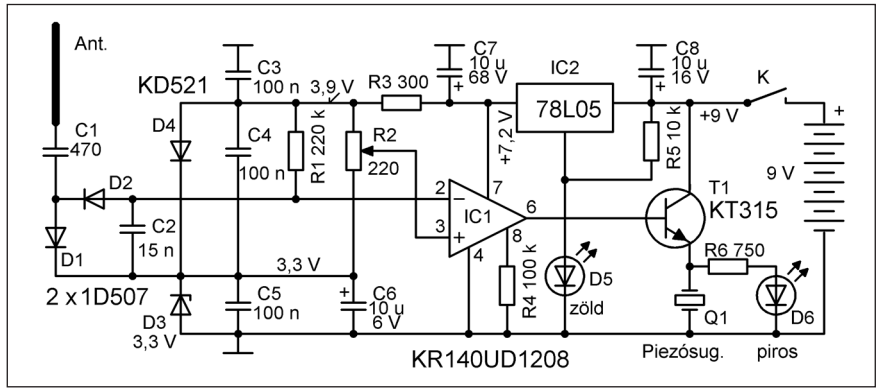
jelent. Maximális (100 uA) végkitérést $U = R \cdot I = 3000 \cdot 10^{-4} = 0{,}3$ V eredményez. A védődiódák kb. 0,5 V-nál kezdenek vezetni, így a műszert csak mintegy 0,5/0,3 = 1,7-szeres túlterhelés érheti. A kapcsolás hátránya a kéttelepes (2 × 9 V) táplálás.

32. ábra

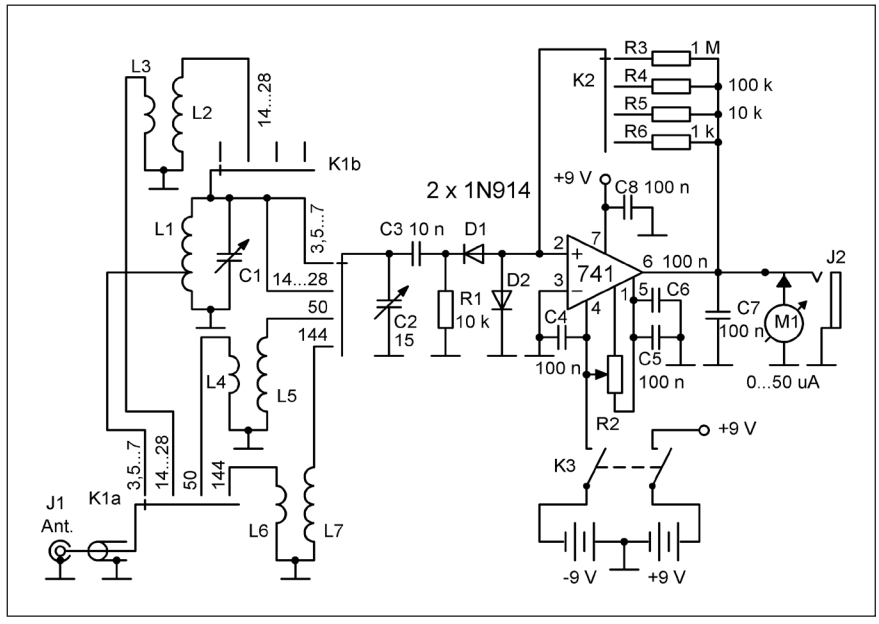
Az áramkör a demodulált RF-jel integrált áramkörös erősítésére épül [23]. A demodulátor diódák előfeszítése stabilizált 3,3 V-tal történik, a kapott jel az erősítő IC invertáló bementére kerül. A neminvertáló bemenetre adott szabályozható feszültséggel a kimeneti ofszet-feszültség, illetve ezáltal az IC-t követő tranzisztor nyitása állítható be. Az npn tranzisztor (pl. BC109, BC182, BC546, BC548, BCY58) teljes nyitásba emitterkörében piros LED fényerő-változásai jelzik az RF szintet. A LED-del párhuzamos piezosugárzó pedig hanggal ad jelzést.

Az áramkört 9 V-os telep táplálja, de az IC a tápfeszültségét (7,2 V) egy „megemelt talpú” 78L05 stabilizátorról kapja. A referenciafeszültséget egy zöld LED állítja be, ami egyúttal a bekapcsolt állapotot is jelzi.

A D1 és D2 RF egyenirányító Ge jeldiódák (1N34A, AA111, OA1154, D9B), a D4 Si univerzális dióda (1N914, 1N4154, N125, BA243) és az IC uA776 „micropower opa-nak” megfelelő, kimeneti rövidzár-védelemmel rendelkező orosz gyártmány.



32. ábra



33. ábra

33. ábra

Egy egyszerű hullámmérő nem elég érzékeny és a linearitása rossz. Ezért integrált áramkörös erősítőt alkalmaz az ARRL Antenna Book leírása [24]. Hangolható bemenő köreinek átfogása 3,5-től 144 MHz-ig terjed, tulajdonképpen inkább hullámmérő.

Az induktív antennacsatolású hangolt körökről kapott RF-jelet 1N914-es (1N4148, 1N4154, N125) diódák egyenirányítják. Az erősítő IC (uA741 vagy jFET-es) neminvertáló bemenetére kerül az egyenfeszültség, a kimeneti ofszet-feszültség változtatásával (R2) nullázható az 50 uA-es indikátor műszer. Az érzékenység a K2 kapcsolóval változtatható, a legérzékenyebb állásban mintegy 100 uV-os jel érzékelhető. Az átkapcsolásos megoldás előnye a potenciométeres szabályozással szemben az, hogy a mérések reprodukálhatók, a méréshatárok rögzítettek.

Ez a készülék a műszer kitérésének 1/5-e felett jó linearitású; ez alatt a diódák kisjelű nonlinearitása miatt nem. Ha szükséges, a beépített műszert leválasztva az indikátor távolabb is elhelyezhető. Hátrányként jelentkezik a kéttelepes (2 × 9 V) táplálás.

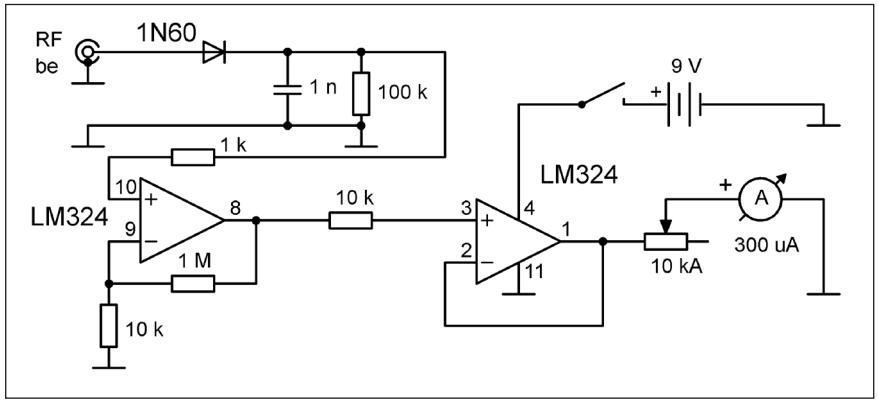
34. ábra

Integrált műveleti erősítő alkalmazása nemcsak a vett/egyenirányított jel erősítésénél előnyös, de a térerő-indikátor felépítését is egyszerűsíti, az áramköri elemek számát csökkenti. Jó példa erre a *Jestine Yong* által közölt kapcsolás [25].

A szándékosan szélessávúra készített bemenőkör RF-jelét egyetlen 1N60 Ge jeldióda egyenirányítja, majd az így kapott jel egy LM324 IC egyik műveleti erősítőjére kerül. Egy második, szintkövetőként kapcsolt erősítő hajtja meg a 300 uA-es indikátor műszert, az érzékenységet pedig egy sorba kapcsolt potenciométerrel lehet szabályozni.

Ezzel a térerő-indikátorral a mikrohullámú sütő RF szivárgását, WiFi routert, mobiltelefon sugárzását lehet érzékelni – számol be a szerző. Természetesen megfelelő (1/4 hullámhosszú) antennával: 2,4 GHz-re kb. 3 cm-es szükséges.

A megépített készülékben a szerző az egyenirányító diódát és az 1 nF-os kondenzátort közvetlenül az antenna



34. ábra

csatlakozására forrasztotta, egy további készülékben a dióda terhelését képező 100 kohm ellenállás is odakerült.

Ez az áramkör képezheti további fejlesztések alapját. Tápfeszültség csatlakozóval tartós használatra, a bemenőkörben lévő dióda előfeszítésével a linearitást növelve, további elemek beépítésével a műszer védelmét biztosítva jó amatőrkészülékké válhat.

35. ábra

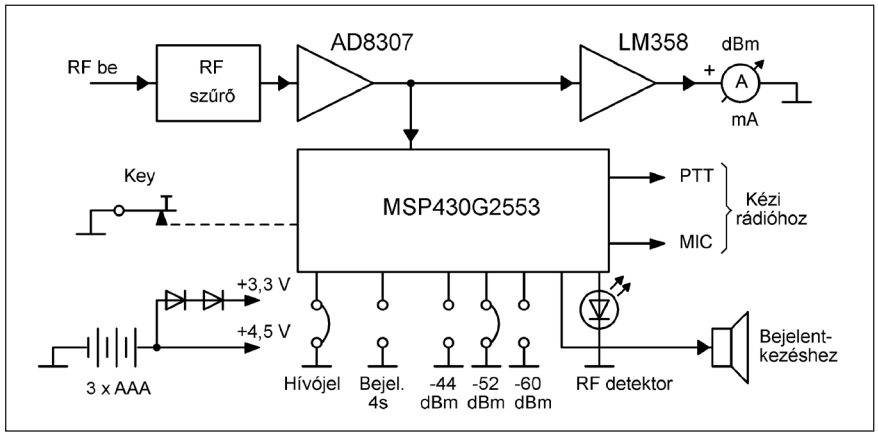
Komplex, az átlagos amatőrök igényeinél talán többet nyújtó készülékről számolt be *Ron Lisiecki* (WB6FDY) [26]. A közölt műszer az AD8307 logaritmikus erősítőre épül, amely DC...500 MHz között működőképes.

Az antennáról érkező jel szűrés után kerül az erősítőre, majd az erősítőről kapott demodulált jel egyrészt egy kettős műveleti erősítős LM358 IC-n át hajtja meg az analóg indikátor műszert, amelyet dBm egységekben célszerű skálázni. A jelet a másik ágon egy mikroprocesszor (MSP430G2553) dolgozza fel, és a térerőt dBm-ben szóban adja ki (hangszóróra). Ugyanakkor lehetőség van a beszédhangot egy kézirádióval továbbítani. Ennek kezelését – az adásindítást (PTT) – a kapcsolásban lévő uP végzi, beállított időközönként. További lehetőség az amatőrállomás beprogramozott hívójelének a mérési eredmények „bemondását” megelőző leadására is (állomás-azonosítás céljából).

A mérési eredmények továbbításának ciklusa természetesen kézzel is indítható. A készülék részletes leírása a [26]-ban megtalálható.

Irodalom:

1. RF Sniffer: Igor Grigorov VA3ZNW; Antentop-01-2018 #22; 87-90 o.; www.antentop.org
2. Medium Wave Alliance / engineering Department: Field Strength Meter (www.Geocities.com/ResearchTriangle/Lab/1635/circuits/circ01.html; letöltve 4/16/99)
3. Amatőr kapcsolások: Szélessávú térerőmérők (RT 1993/5, 249 o. – forrás: Practical Wireless, 1993/2)
4. Dipólos térerőmérő (RT 1994/9, 458 o. [HA5NM] forrás: Practical Wireless, 1993/2)
5. Detektoros rádió és térerő-indikátor (RT ÉK ’19; Sok kis kapcsolás: 217 o.)
6. Térerőmérők (RT 2016/12, 409 o.; forrás: Funkamateur 1995/1, KV Zsurnal 1996/2)
7. Antennaparaméterek mérése – nem is bonyolult! (RT 2013/06, 237-23 o; forrás: Ragyio 2004/2 Vlagyimir Poljakov, RA3AAE)
8. Der neue Feldstaerkemesser von Annecke (FUNK, 8/96, 31 o.)
9. Peter Parker: Simple test equipment to build (http://alphalink.com.au/-parkerp/noapr97.htm)
10. MFJ-801B és MFJ-802B Field Strength Meter (forrás: www.MFJenterprises.com)
11. Szélessávú térerőmérők (Amatőr kapcsolások, RT 1993/5, 249 o.; forrás: cq-DL 1993/1; [HA5KU])
12. Térerő-indikátor (RT 2018/03, 91 o.)
13. DMM Field Strength Tester (R. Russo KB3VZL, QST February 2015, 71 o.)
14. Térerőindikátor-előtét digitális multiméterhez (RT 2012/11, 536 o.; forrás: Ragyio 2006/8)
15. Érzékeny RH térerőmérő (Amatőr kapcsolások, RT 1991/1, 20 o.; forrás: Fare Elettronica 1990/9)
16. Érzékeny térerősségmérő (Radio Communication 1981/9)
17. Érzékeny térerősség-indikátor (RT 1979/5, 214 o.; forrás: CQ 1979/1, 99 o.)
18. Amatőr kapcsolások: Térerősség-indikátor URH antennák bemérésére (RT 1974/9, 414 o. forrás: Radio Communication 1973/1)
19. Egyszerű térerősség-indikátor (Sok kis kapcsolás, RT ÉK ’18, 222. o.)
20. Ötperces kapcsolások (Rádiótechnika, 1977/3, 110 o.; forrás: 73 Magazine 1974/1)
21. Térerő-indikátor (RT 1980/2, 93-94 o.; HA8KT)
22. Mobile phone absorption wave meter (The Creative Science Center, Dr. J. Hare, University of Sussex, Brighton, UK)
23. Amatőr kapcsolások: RF detektor (RT 2016/01, 30-31 o.; forrás UR5CVY, Ragyiomir 2013/3)
24. Linear Field Strength Meter (The ARRL Antenna Book 1997, Sect. 27, 39-40. o.)
25. Building Your Own RF Field Strength Meter (Jestine Yong, June 1, 2013; Jestinejong.com/build-your-own-rf-field-strength-meter; downloaded July 8,2018)
26. A Remote RF-Level Annunciator (Ron Lisiecki [WB6FDY], QST May, 2018, 33-37 o.)



35. ábra

A RÁDIÓTECHNIKA HAM-bazár
egységcsomag-kínálata

LIC lineár IC-pakk (30 db klf. lineár IC, pl. TDA1072, MC1458, TDA2030, TDA3420).....1200 Ft

SCRP tirisztorpakk (2 db BT152-800R, 4 db KT206/200, 5 db KT505, 4 db MCR100-8.....1500 Ft

SP1 SSR-pakk (3 db 240 V/25 A AC, bontott Siemens v. CRYDOM szilárdtest relé).....5000 Ft

OP1 opto-pakk (60 db klf. optoalkatrész, dióda, 7-sz. kijelző, tranzisztor, érzékelő).....1000 Ft

XP1 xtalpakk (1-1 db 7020, 7040, 7060, 7080 kHz-es HC49/S kvarc).....1000 Ft

XP2 xtalpakk (1-1 db 3, 4, 5, 6, 8 MHz-es és 20 db vegyes értékű HC49/U kvarc).....1200 Ft

XP3 xtalpakk (1-1 db 8, 12, 14, 15, 25 MHz-es és 20 db vegyes értékű HC49/U kvarc).....1200 Ft

Zsákbamacska (príma mix aktív és passzív alkatrészekből).....1000 Ft

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. emelet H-P. 09-14 ó., Cs. 09-17 ó. vagy postán, utánvéttel
(+36 1) 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu X2

A RÁDIÓTECHNIKA HAM-bazár
egységcsomag-kínálata

VP1 varikappakk (6 db 2V104D, 6 db 2V110V, 1 db BB112, 4 db BB329, 8 db BB521).....700 Ft

ZP1 zenerpakk (70 db klf. Z-dióda, 2 V...120 V között).....700 Ft

FP1 FET-pakk (10 db 2SK168D, 5 db J211A, 3 db 2N3820, 2 db BF247A).....1500 Ft

MP1 MOSFET-pakk (6 db BF961, 6 db BF964, 6 db BF982, 2 db IRF510, 2 db IRF640).....1400 Ft

TP4 tranzisztorpakk (60 db klf. npn, pnp Si és Ge kisteljesítményű).....900 Ft

TP5 tranzisztorpakk (140 db klf. npn, pnp Si és Ge kisteljesítményű).....1700 Ft

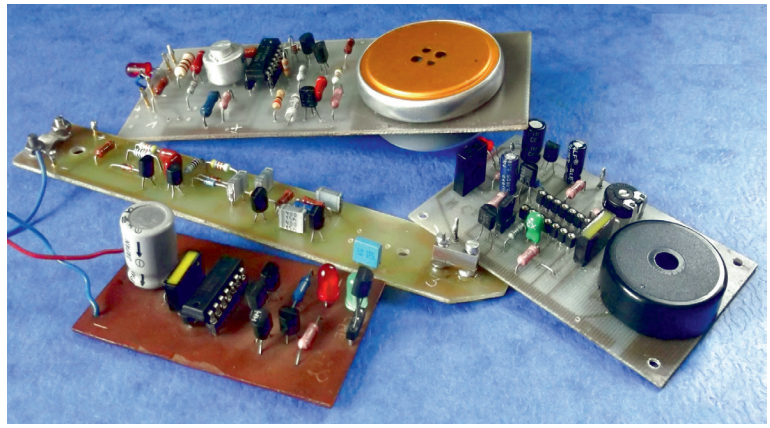
TP6 tranzisztorpakk (25 db klf. npn, pnp Si és Ge nagyteljesítményű).....1200 Ft

TP7 tranzisztorpakk (60 db klf. npn, pnp Si és Ge nagy teljesítményű).....2400 Ft

DAP1 darlingtonpakk (2 db BDX33C, 2 db BDX34C, 6 db BC516, 6 db BC517).....800 Ft

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. emelet folyosóközép H-P. 09-14 ó., Cs. 09-17 ó. vagy postán, utánvéttel
(+36 1) 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Bp., Pf. 123 www.radiovilag.hu hambazar@radiovilag.hu T2

Egyszerű vizsgáló, tesztelő berendezések



Nagymáté Csaba villamosmérnök,
nmtecsaba@gmail.com

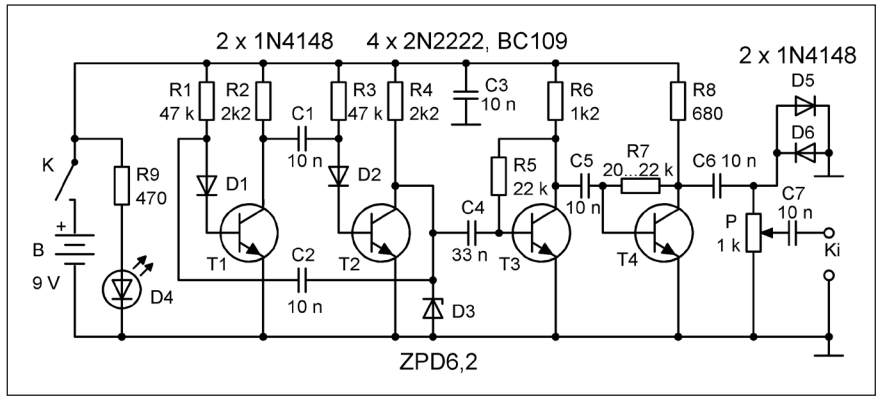
Talán sokan felteszik a kérdést, hogy milyen jelentősége lehet 20 évvel a századforduló után a címbeli áramkörökkel foglalkozni? Az olcsón beszerezhető, nagy integráltságú „marokmérőműszerek” szinte mindegyike tartalmaz valamilyen ellenőrző, vizsgáló funkciót. Ez így igaz, de ha mélyebben belenézünk azok műszaki tartalmába, akkor már is látjuk azt a sok-sok kiskaput, amit nyitva hagyott az aktuális berendezés fejlesztése. Másképpen fogalmazva: azok a bizonyos tesztelő, vizsgáló funkciók csak bizonyos korlátokkal használhatók. Ez alól persze kivételek a pl. kimondottan alkatrészvizsgálatra szolgáló célműszerek. Jelen válogatásunkat tehát úgy ajánljuk az olvasónak, hogy abban néhány, a helyét önállóan is megálló, de a tömeggyártástól független kis berendezést mutatunk be.

Az itt bizonyító „apróságoknak” a másik közlési feltétele az egyszerűség volt. A bonyolult dolgok ma már nem kedveznek az amatőr alkotókedvnek. Az eredményt gyorsan, s minél könnyebben akarjuk látni. Elmondhatjuk, hogy e tekintetben is szolgáljuk az olvasók igényét. Mindazonáltal az építés örömét azzal is fokozni kívánjuk, hogy olyan dokumentumokkal (ismeretekkel) támogatjuk az adott áramkör kivitelezését és/vagy megértését, ami tényleg a XXI. század sajátja. A többé-kevésbé ismert (újra feldolgozott) kapcsolások ezzel a hozzáadott értékkel lehetnek a mai áramkörépítők számára vonzók. A gyakorlati „értéküket” pedig az egyes típusok kapcsán rendre elmondjuk.

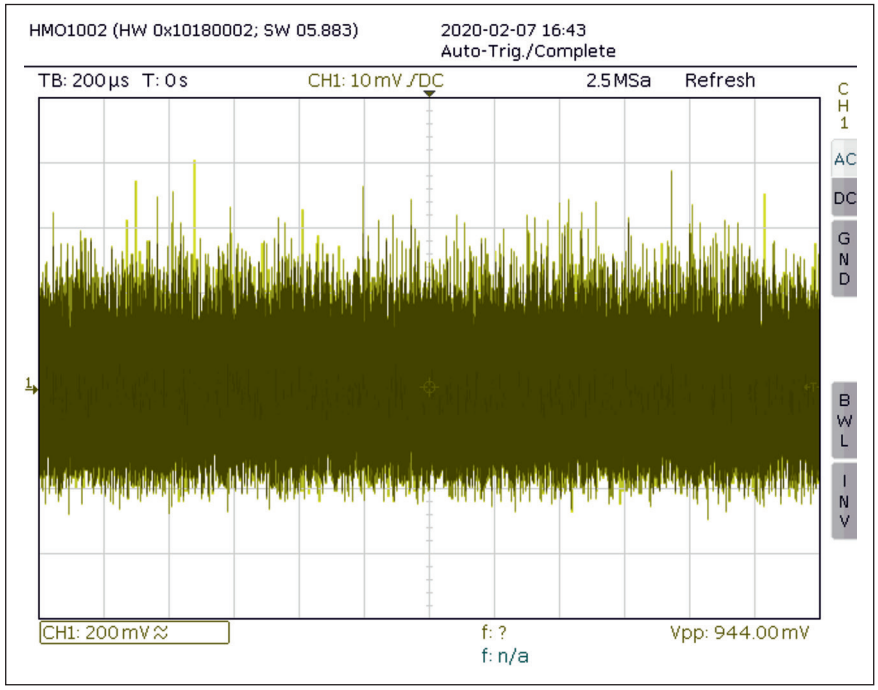
1. Szélessávú vizsgáló generátor

Rádiókészülékek javításakor nem feltétlenül szükséges méregdrága szignálgenerátort bevetni (bár néha elkerülhetetlen), jó szolgálatot tehet az **1. ábrán** látható szélessávú vizsgáló jeladó is. Ezzel a „hétvégi” kapcsolással rádiónk HF, KF, NF fokozatainak működőképességét ellenőrizhetjük. A berendezés nagyfrekvenciás „fokozata” egy Z-diódás modulált zajgenerátor. Zajon általánosságban az áramköri elemeken fellépő nemkívánatos feszültség- és áramingadozásokat értjük. Ennek fizikai alapja a termodinamika harmadik főtétele, amely szerint minden rendszer energiája egyensúlyi állapotban is ingadozásokat mutat egy megszabott középérték körül. A termodinamikailag jelentkező elektromos energia az előbbi feszültség- vagy áramingadozás, amely az elektronok rendezetlen mozgásának az eredménye. A zajt tehát az elektronok (molekulák) mozgását befolyásoló erő, s egyéb hatások hozzák létre. Ezek a zavaró jelek pedig minden ohmos ellenálláson és az aktív félvezető elemekben is fellépnek. Az előzőekben említett zajtípust az elektronikában *termikus zaj*nak nevezzük, ami a rendezetlen töltéshordozók hőmozgásának a következménye. Ismeretes pl. hogy minden R értékű ellenállás egy illesztett terhelésen az abszolút hőmérséklettel (T) és a sávszélességgel (B) egyenesen arányos zajteljesítményt (P_{zaj}) ad le. (P_{zaj}= $k \cdot T \cdot B$, ahol $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Ws/K, a Boltzmann-állandó). Jóllehet nem tárgya közleményünknek, azonban tartozunk annyival a korrektségnek, hogy említést teszünk a félvezetőket „sújtó” egyéb zajtípusokról is. Ezek értelmében beszélhetünk még az ún. *sörétzaj*ról, amit a töltéshordozók P-N átmeneten való áthaladása idéz elő. Ismeretes továbbá egy másik fontos tényező: az elektronikai alkatrészek nem tökéletes gyártástechnológiájának a következménye: a *villódzási*, vagy *flicker*-zaj. Ez utóbbi két zajforrás matematikai analízisétől szintúgy megkíméljük az olvasót.

A Z-dióda letörési tartományát párhuzamosan megjelenő, véletlenszerű folyamatok jellemzik (lavina effektus, erős szennyeződések sztatikus emissziója). Emiatt az kismértékű elektronikus zajt termel, sőt akár zajgenerátorként is használható. Áramköri beállításként tudnunk kell, hogy ilyen céllal használni kívánt zenert a szokásos min. 5 mA-es munkapont helyett



1. ábra



2. ábra

célszerű 1 mA környéki (vagy alatti) árammal működtetni (rajzi adatainkkal itt kb. 1,1 mA). Ez a zajjelenség általában nemkívánatos (s nem is elhanyagolható), de esetünkben éppen erre építkezünk! A zener termelte zajra az a jellemző, hogy annak spektruma szélső frekvenciahatárok között állandó amplitúdóeloszlást mutat, az egyes frekvenciaösszetevők pedig egymáshoz képest rendezetlen fázisviszonyban vannak (**2. ábra**). Az ilyen jellemzőkkel bíró zajt fehér-, vagy véletlen zajnak nevezzük. Nevét a fénytanból kölcsönözte, hiszen a fehér fény is tartalmazza az összes színösszetevőt. (Megjegyezzük, hogy az elektronikában ún. színes zajok is vannak (rózsaszín barna, stb.). Ezek közös jellemzője, hogy a különböző frekvenciájú összetevők előfordulása továbbra is véletlenszerű, de amplitúdójuk, teljesítménysűrűségük nem azonos, valamilyen szabályszerűség szerint változik.)

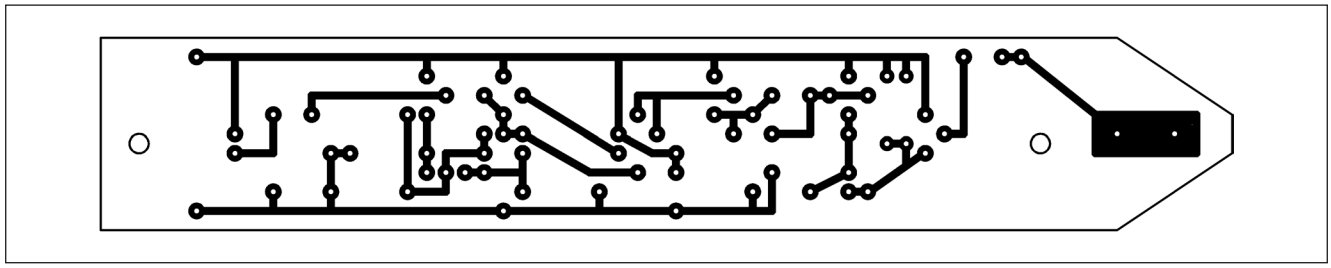
Az előzőeknek megfelelően tehát a D3 Z-dióda mint modulált szélessávú zajgenerátor működik. A modulációról a T1 és a T2 tranzisztoron alapuló, kb. 1 kHz frekvenciájú astabil fokozat gondoskodik. A tényleges modulációt a T2 működési periódusa biztosítja. A zajszintet a T3, T4 erősítő fokozatok erősítik. A kimeneti szint a P potenciométerrel állítható. Az előbbi 2. ábránk ezt a felerősített, (s itt modulálatlan) jelet mutatja már. A jeladónk használhatósága még 30 MHz felett is indikálható. Ezt mutatja a **3. ábra** spektrumfelvétele, amin jól látszik, hogy a vizsgálati tartományon (1…50 MHz) belül szinte az 50 MHz-es határig van az alapzajból kiemelkedő „hasznos” zajjel. Ez annál is inkább igaz, mert van egy pici „becsapás” is a dologban, mivel a spektrumanalizátor 50 ohmos bemenete „agyoncsapja” a nagyimpedanciás kimenetünket. Ennélfogva a valóságban sokkal nagyobb a kimeneti jelünk még a határfrekvencia környékén is! A célunk itt csak az lehetett, hogy láttassuk a zajforrásunk működési határait.

3. ábra

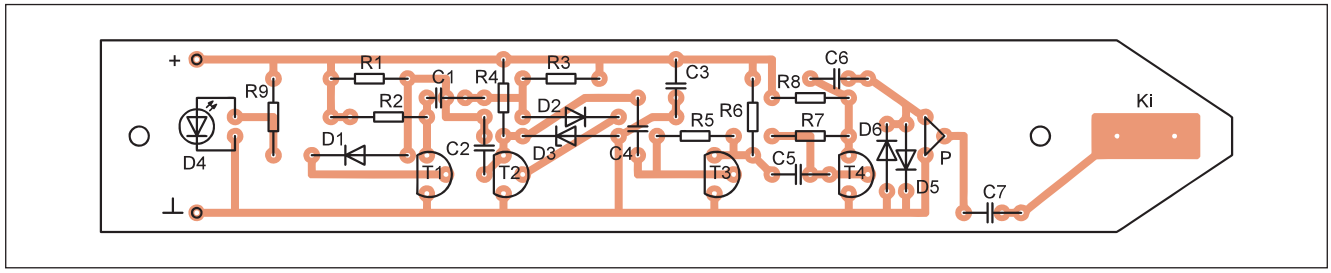
Elkészítés, használat

Kis készülékünket amolyan „ceruza műszerként” készíthetjük el. Az ehhez igazodó hosszúkás nyáktervet (25 × 150 mm) a **4. ábrán**, s annak beültetését az **5. ábrán** mutatjuk. A nyáklapot – amolyan szendvicsként – egy-egy színes, azonos alakú plexilap fogja közre (**6. ábra**), melynek felső darabján helyezkedik el a kimeneti szintszabályozó forgatógombja, valamint a D4 furata. A nyáklap kimeneti részéhez, két beütött csőszegecshez, egy sorkapocselem („kis csoki”) belső magját forrasztottuk. Ide csavarozható be a tényleges mérőcsúcs, amire a gyakorlatban egy közönséges varrótű vált be a legjobban.

A panel beültetése fokozatonként történjen, kezdjük az astabil áramköri részlettel! Annak működését oszcilloszkóppal, vagy nagyimpedanciás fejhallgatóval ellenőrizhetjük. A zajgenerátort pedig leállított (pl.T2 B-E lábainak összezárásával) astabillal üzemeljük be. Előtte amennyiben módunk van rá, érdemes a Z-diódákat zajra válogatni. Ehhez egy min. 5 mV-os Y érzékenységű oszcilloszkóp szükséges. Az egyes példányokat a rajzi, kb. 2 kohmos értékkel sorba kötve figyeljük az ernyőképet! Az egyes gyártók szerinti példányok jelentős különbséget mutatnak. Vannak „túl jó” példányok, ahol ilyen érzékenység mellett nincs az alapvonalból kiemelkedő zajjel. A másik véglet pedig eléri a csúcstól-csúcsig mért 5 mV-os értéket is. (Ezeket ugye „normális” áramkörbe már nem túl szerencsés alkalmazni, de itt kimondottan előnyösek.) Ezen kezdeti értékek pedig



4. ábra



5. ábra

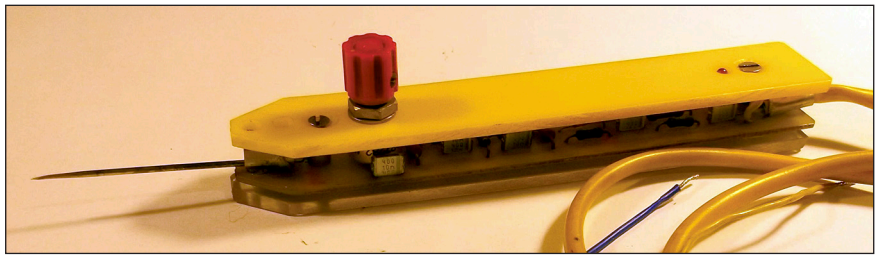
befolyásolják a teljes egységünk maximális kimeneti zajszintjét. Az előbbi példánknál maradva egy 5 mV-os kezdő értéknél a T3 kollektorán már kb. 40…50 mV lesz, míg a kimeneten már csúcstól csúcsig 2…4 V-os értéket is mérhetünk. Zajjelet tehát már indikálhatunk a D3 katódján is, de célszerűbb azt a kimeneten (C6) oszcilloszkóppal ellenőrizni, mikor is a 2. ábrának megfelelő jelet kell, hogy kapjuk. Megjegyezzük, hogy az ábra egy válogatás nélküli zener-példányról készült, azaz általánosnak mondható értéket mutat. Amikor mindent rendben találtunk, oldjuk fel az astabil letiltását, s a kis műszerünk használatra kész. Az egység 9 V-os tápfeszültséggel üzemel, kb. 25 mA-es fogyasztás mellett, mely lényegesen kisebb lehet pl. 2 mA-es LED használatával. Koncepciónk szerint a telepnek nincs helye a ceruza alakban, azt rövid vezetékkel csatlakoztathatjuk a panelhez.

A javítandó, bekapcsolt rádiókészüléket pedig a klasszikus „hátulról-előre” elv szerint vizsgáljuk! A hangszóró kapcsaitól elindulva az egyes fokozatok (HF, Demodulátor, KF, keverő, RF bemeneti fokozat) bemenetére kell a jelünket becsatolni. Amennyiben az előbb felsorolt fokozatok működőképesek, úgy a hangszóróból hallanunk kell az 1 kHz-es füttyöt, illetve a sistergő zajt. Azt vegyük figyelembe, hogy a rádióelektronika tetemes erősítése miatt hátulról előre haladva egyre kisebb szintű vizsgálójel szükséges ugyanakkora kimeneti hangerőhöz. Az a fokozat, amely nem működik, az nem engedi át a vizsgáló jelünket, a hiba tehát abban a fokozatban keresendő részleteiben.

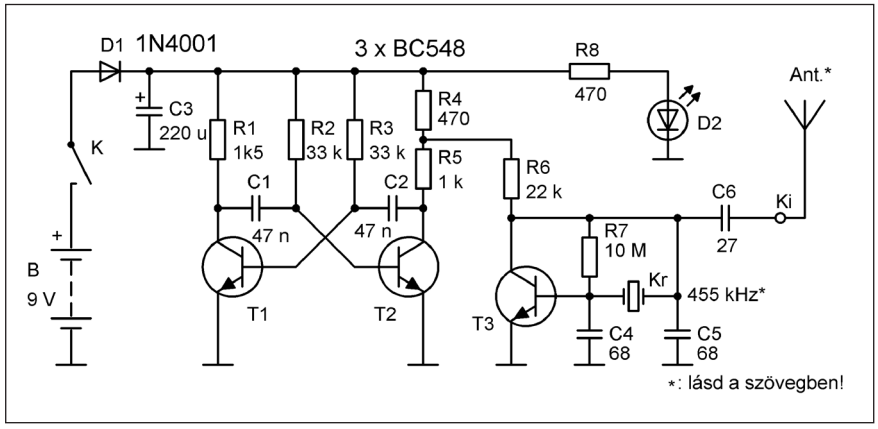
2. Modulált KF oszcillátor

Következő kis készülékünk szűkíti az előző szélessávú jeltartományt: egy keskeny frekvenciakörzetű ún. KF hangolóoszcillátort készítünk. Ismeretes a heterodin rendszerű vevők egyik nagy előnye, a középfrekvenciás fokozatok alkalmazása. Azonban ez esetben gondoskodnunk kell arról, hogy ezek a fokozatok mindegyike azonosan egyetlen frekvenciára legyen hangolva, aminek AM készülékeknél a tipikus értéke: 455 kHz. Amennyiben ez nem így lenne (elhangolódás, áramköri hiba) a készülékünk érzékenysége csapnivaló lesz, nem is beszélve az idegesítő kísérő jelenségről: a sipoló (fütyülő) hangról. Elmondhatjuk tehát, hogy a korrekt KF behangolás elengedhetetlen feltétele a műsorvevőnk jó teljesítésének.

Ez több módon is elérhető, melyek közül a legegyszerűbb, de a legkevésbé korrekt eljárás: a fülre történő hangolás. Ebben az esetben ráállunk egy ismert frekvenciájú adóállomásra, és a KF fokozatokat addig hangoljuk, míg a hangszóróból a maximális hangerőt nem tapasztaljuk. A módszer több szempontból is aggályos. Egyrészt szinte biztos, hogy a KF fokozatok nem pontosan ugyanazon a frekvencián lesznek, másrészt a maximális hangerő észlelése is erősen egyénfüggő. (Ez utóbbit persze kiküszöböli egy HF csővoltmérő használata, de az előbbi probléma akkor is marad.) Az ideális megoldás tehát egy RF szignálgenerátor alkalmazása lenne, amin precízen be lehet állítani pl. a 455 kHz-es frekvenciát. A hangolás során a fokozatonként növekvő KF érzékenység miatt a generátor kimeneti jelét progresszíven csökkenteni kell, hogy az AGC fokozat még ne aktiválódjon. Ellenkező esetben megint csak a készülékünk érzékenységi mutatója látja kárát. Az eljárás részletesebb kifejtését a vonatkozó szakirodalomban megtalálják az érdeklődők, illetve a fejezetünk végén mi is említést teszünk róla.



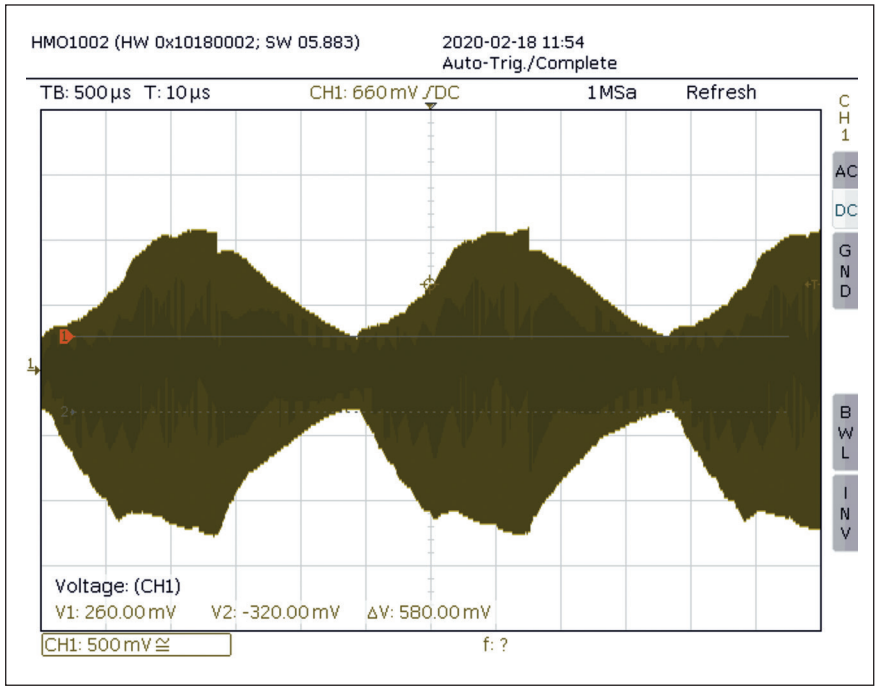
6. ábra



7. ábra

„– Ez mind szép, de nincs (méregdrága) szignálgenerátorom” mondhatja a rádióját restaurálni kívánó elektronikus. Nos, nekik (is) kínál lehetőséget az alábbi kis hangoló oszcillátor. Ezen feladat tekintetében szinte azt nyújtja, mint a professzionális társa, de összehasonlíthatatlanul költségkímélőbb módon. Az áramkörünket a **7. ábrán** mutatjuk, ahol két jól elkülöníthető áramköri részletet figyelhetünk meg. Az egyik a T1 és a T2 tranzisztor alkotta astabil multivibrátor, amely a moduláló (alapsávi) négyszögjelet állítja elő, kb. 500 Hz-es frekvenciával. A második rész pedig a T3-ra épülő, s 455 kHz-es kerámia rezonátort használó ún. Pierce oszcillátor. A soros rezonanciájú kerámiaszűrők helyettesítő képe a rezgőkvarcéhoz hasonló, így a szokásos kvarcoszcillátor-kapcsolásokban berezgethetők. Az itt alkalmazott típus a közismertebb Colpitts oszcillátorból származtatható, és a rezonáns elem a tranzisztor C-B elektródái közé van kötve, s közel szinuszos jelet szolgáltat. Az eredmény pedig: a kvarccal működő oszcillátorok stabilitásánál némileg rosszabb, de az LC oszcillátorokhoz képest meg lényegesen jobb stabilitású jelforráshoz jutunk. A nagyfrekvenciás oszcillátor modulálását az astabil fokozat végzi oly módon, hogy az előbbinek a tápfeszültégét frekvenciájának ütemében változtatja.

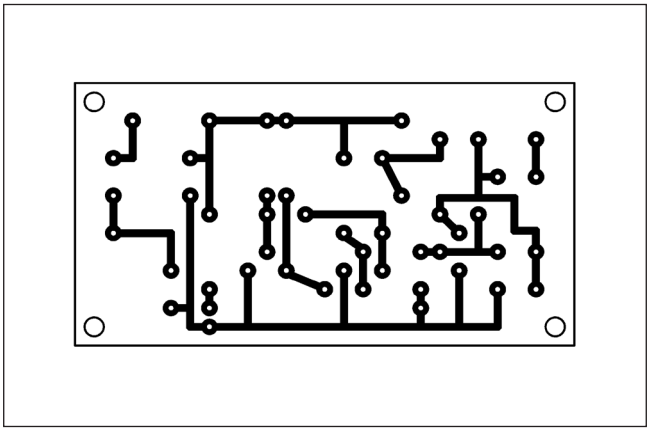
A fokozat (T3) munkaellenállása (R6) a T2 kollektor ellenállásának, mint R4, R5 feszültségosztó osztáspontjára van kötve. A T2 kollektorfeszültsége pedig +0,2 V és +8,4 V között periodikusan változik. A munkaellenállások osztáspontján így +8,4 vagy +5,5 V feszültség lesz jelen (itt most eltekintünk R6 némileg ezen értéket módosító hatásától), ami a Pierce oszcillátor tápfeszültsége is egyben. Az oszcillátor kimeneti jele pedig arányos lesz a tápfeszültségének változásával, azaz a fenti számértékeket tekintve kb. 65%-os modulációs mélységű AM jelet kapunk. A levezetésünk gyakorlatban jelentkező „aprópénzre váltását” mutatjuk a **8. ábrán**, az áramkör kimenetén mérve. A modulációs mélységet oszcilloszkóppal is mérhetjük, melynek igen egyszerű módja szinte minden szakirodalomban megtalálható. Azt alkalmazva viszont elmondjuk, hogy az ábrán mért modulációs mélység 66% volt, ami szépen hozta az elméleti értéket. Az egység AC csatolású. A kimenetéhez egy kb. 300 mm hosszúságú huzaldarabot forrasszunk, ami használatkor majd antennaként funkcionál.



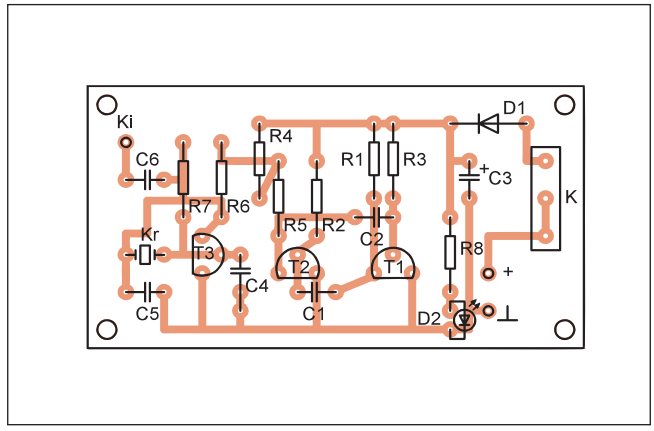
8. ábra

Elkészítés, ellenőrzés, használat

A kis „műszerünknek” adhatunk a zajgenerátorhoz hasonló megjelenési formát is, de a változatosság jegyében a **9. ábrán** látható nyákterv készült hozzá. Az ehhez tartozó beültetési rajzot pedig a **10. ábrán** mutatjuk. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a panel beültetés után azonnal üzemkész. Ettől függetlenül néhány beállítási, ellenőrzési megfontolást megosztunk az olvasóval. Az astabil fokozatról újat nem lehet elmondani, de feleleventjük, hogy a rezgési frekvenciája (jó közelítéssel) a rajzi adatainkkal: f = 1/1,7R2C1. Behelyettesítve a konkrét értékeket 460 Hz-et kapunk, s a minta panelen 425 Hz-et mértünk. Ez jól közelíti a szignálgenerátorok egyik szokásos moduláló frekvenciájának értékét. Az alkatelemek tekintetében megjegyezzük, hogy ha az R2C1 és az R3C2 értékei nem pontosan egyformák, úgy az előállt négyszögjel kitöltési tényezője sem lesz pontosan 50%. A Pierce oszicillátor legfontosabb alkateleme a Kr kerámia rezonátor. Ebben az alkalmazásban csak a „kétlábú” kivitel felel meg (CQ455, JTB455, CSB455, vagy az egykori Kőporc CF455-A.). A kerámiarezonátorok más KF értékekre is készültek, ilyen pl. a BFU465-ös típus. Mivel a kisrádiók körében mindkét középfrekvencia gyakori, átalakíthatjuk a



9. ábra



10. ábra

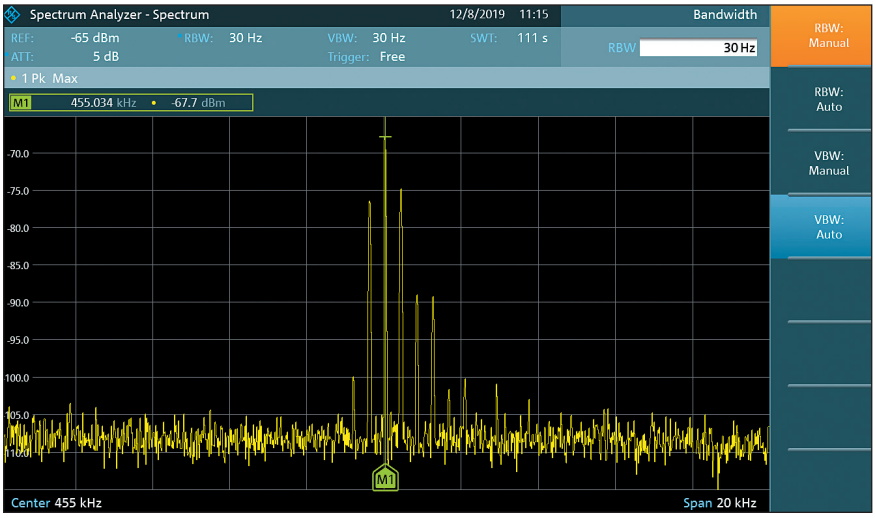
kapcsolást úgy is, hogy a 455 kHz-es vagy a 465 kHz-es rezonátor egy váltókapcsolóval legyen beiktatható.

A komplett vizsgálóoszcillátorunk működése pedig ellenőrizhető minden műszerezettség nélkül, illetve igen „tudományosan” is. Az előbbi módszerhez csupán egy középhullámú AM rádióvevőre van szükségünk. Annak frekvenciáját állítsuk 910 Hz, és/vagy 1365 kHz-re, mely frekvenciák a kis készülékünk második, illetve harmadik harmonikusának frekvenciái. A már említett huzalantennát közelítve a rádióhoz, az előbbi frekvenciákon szépen hallani kell a kb. 400 Hz körüli moduláló jelet. Ez a próba egyben a teljes rádiókészülék működőképességi ellenőrzése is (hangoló oszcillátorunk másodlagos funkciója). A komoly műszerparkkal rendelkezők pedig a korábbi 8. ábránkon, és az új **11. ábra** alapján tanulmányozhatják az amplitúdómoduláció jellemzőit. Ez utóbbi képünk spektrumanalizátorral készült, ahol elemezhetjük a négyszögjellel való modulálás „következményeit”. Amennyiben az tiszta szinusz lenne, akkor a vivő mellett csupán két oldalfrekvenciát kellene látnunk. A műszer felbontási sávszélessége lehetővé teszi ennek láttatását négyszögjel esetére is, de ahol további oldalfrekvenciák is megjelennek. Ennek okai ismertek, de tárgyalásuk nem célja közleményünknek.

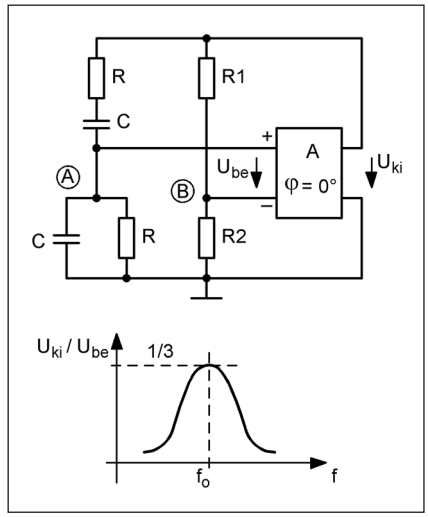
Használata során a következőképpen járjunk el. A hangolandó készüléket középhullámra kapcsolva a forgókondenzátort beforgatjuk, és a helyi oszcillátort leállítjuk. Kis berendezésünket olyan közel helyezzük a rádióhoz, hogy a moduláló kb. 400 Hz-es hang gyengén hallható legyen (a hangerőszabályozó maximumon). Az egyes KF-köröket a demodulátortól a keverő felé haladva a maximális hangerőre hangoljuk. Eközben ugye a KF-érzékenység növekszik, a bemenőjelet csökkenteni kell. Ilyen szabályozónk pedig nincsen, ezt a hangoló oszcillátorunk távolabb helyezésével érhetjük el. A szubjektív megítélésnél (max. hangerő) pontosabb eredményt érünk el, ha a hangszórókimenetre váltakozó feszültséget mérő műszert kötünk.

3. Hangfrekvenciás oszcillátor

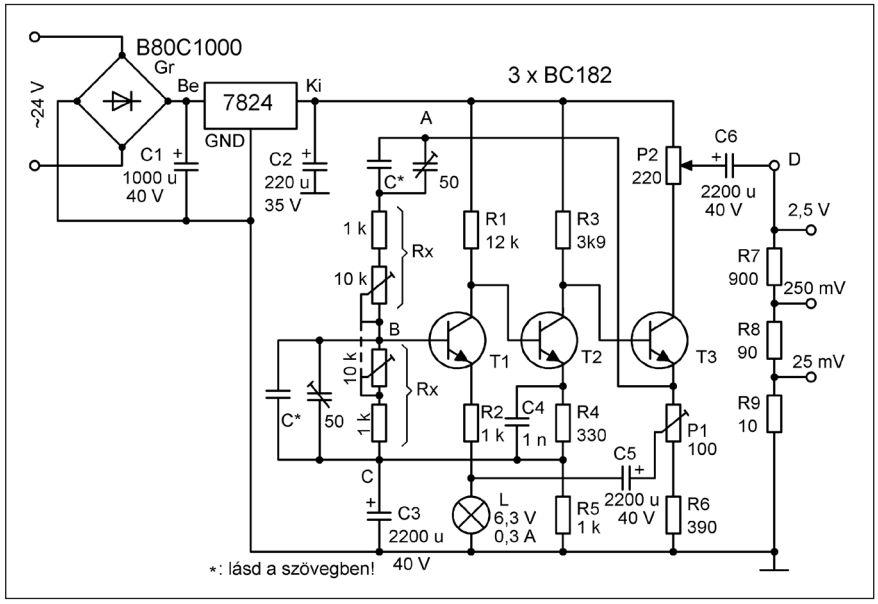
A frekvenciatengely mentén való kalandozásunkat a hangfrekvenciás tartománnyal fejezzük be. Hangfrekvenciás vizsgálatoknál szükség lehet egy kistorzítású szinuszos jelforrásra. Ami pedig az áramköri megvalósítást illeti, választásunk a Wien-Robinson-hidas oszcillátor lesz. Újdonság itt sem fedezhető majd fel, hiszen jól ismert áramköri formációról van szó, de gondolván a témával most ismerkedőkre, röviden bemutatjuk a működését. A gyakorlottabbaknak pedig az áramkör minősítésének bemutatásával szeretnénk új élményt adni. Jelforrásunk lelkét az ún. Wien-osztó képezi (**12. ábrán** az R-C alkatrészek). Az osztó soros RC tagja felülátereszt



11. ábra



12. ábra



13. ábra

tulajdonságú, növekvő frekvenciával csökkenő soros ellenállást mutat. A párhuzamos tag viszont aluláteresztő jellegű. Az ilyen osztó feszültségátvitele a frekvencia függvényében egy f_o frekvencián maximumot mutat. Ennél kisebb frekvencián a soros tag csillapítása csökkenti, f_o felett pedig a párhuzamos tag söntölő hatása csökkenti az U_{ki} értékét. A fázisátvitel f_o frekvencián $\varphi = 0$ fok, csillapítása pedig: $U_{ki}/U_{be} = 1/3$. Ebből a tulajdonságából úgy csinálunk oszcillátort, hogy ezt a „veszteséget" pótoljuk, azaz egy háromszoros erősítésű erősítőt használunk a megfelelő visszacsatolásokkal.

A Wien-osztó még nem híd, bár az osztóval is kialakítható működő oszcillátor. Jó minőségű oszcillátort hidas elrendezéssel készíthetünk. Ehhez az előbbi osztót az R1, R2 frekvenciafüggetlen taggal egészítjük ki. A frekvenciafüggetlen osztót úgy is beállíthatjuk, hogy osztáspontján a bemeneti jelet 1/3-ára ossza. Ekkor azonban az *A* és a *B* pont között f_o frekvencián nem lesz feszültség, a hidat kiegyenlítettük. Így azonban az erősítő bemenetére sem jutna jel. Az oszcillátoroknál így kismértékben kiegyenlítetlen hidat alkalmazunk.

A legnagyobb feladat pedig az erősítő háromszoros erősítésének pontos értéken tartása, mert ha az erősítés ennél kisebb, akkor egyre csökkenő amplitúdójú rezgéseket kapunk. Ha viszont ennél nagyobb, akkor a jel torzítása (vágás) nő meg. Ha a frekvenciafüggetlen osztó osztásarányát a mindenkori oszcillációs szinttől függővé tesszük, azzal igen hatékony szintszabályozást tudunk elérni. Ugyanakkor a szabályozásnak különbséget kell tenni a gyors változások (oszcillációs jel), és a lassú változás (a begerjedés felfutása, az alkatrészekből adódó erősítésváltozás) között. Az RC generátorunk erősítésszabályozását egy, a negatív visszacsatoló láncba iktatott amplitúdófüggő elem beiktatásával oldjuk meg. A wolfrámszálas izzólámpák ellenállása a szál hőmérsékletének emelkedésével növekszik, s viszonylag nagy hőtehetetlensége van. Az oszcillációs frekvenciából adódó gyors változásokat nem tudja követni, de a jelszint lassú elmászására megváltozik ellenállása, az így a jelamplitúdótól függ. Kis kitérőként meg kell jegyezzük, hogy ilyen feladatra eredményesen használható a termisztor is. Hátránya, hogy üzemi hőmérséklete alacsonyabb, mint az izzólámpáé, s a környezeti hőmérséklet-ingadozásra érzékeny. Jelenleg amatőrkörülmények között a legkisebb torzítást alighanem az izzós stabilzálással lehet elérni.

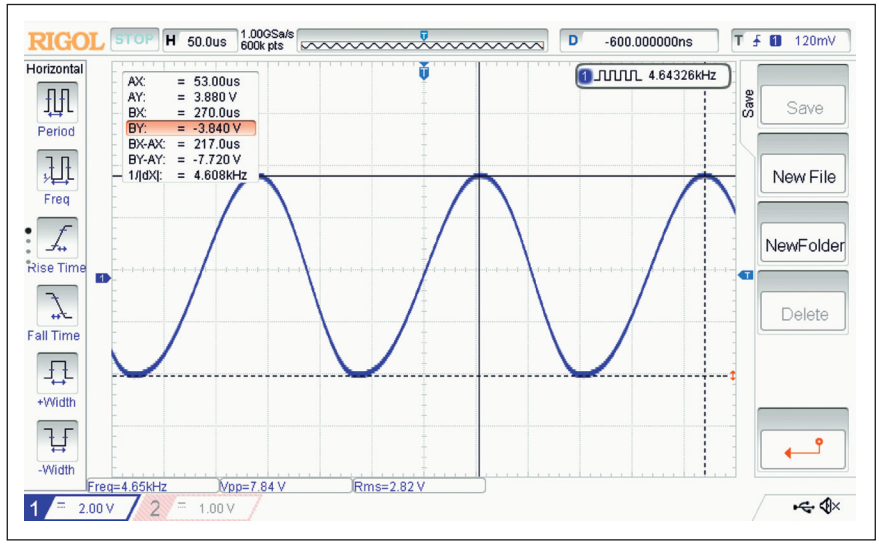
A konkrét kapcsolási rajzot pedig a **13. ábrán** mutatjuk. A T1 és a T2 tranzisztor végzi a szükséges erősítést, amely negatív visszacsatolással van a kívánt értékre beállítva. Az utolsó fokozat (T3) több szempontból is fontos. Egyrészt annak emitteréről csatol vissza a szelektív hálózat (*A* pont), másrészt ugyanezen pontról a P1 potenciométeren keresztül az első fokozat emitterére is jelet vezetünk, ahol ezáltal megvalósul az amplitúdó stabilizáció az I skálaizzó segítségével. A 100 ohmos potenciométerrel tehát a negatív visszacsatolást, így a torzításszegény kimenőjel szintjét lehet beállítani. A kimeneti jelet T3 kollektoráról vesszük le. Ebben az elrendezésben minimális az oszcillátor működésének terheléstől való függése. A kimeneti jel egy háromtagú elemi kimenőosztót is kapott, bár annak alkalmazása nem törvényszerű. A kapcsolás 24 V DC feszültségről működik, amit egy egyenirányító híd és a 7824 stabilizátor IC állít elő. A tápláló feszültségforrás pedig nem más, mint a pákatranszformátorunk 24 V-os AC feszültsége. Alkalmi, és igen gazdaságos megoldás, szándékosan ezt választottuk.

Elkészítés, beállítás

Tekintve, hogy oszcillátorunknak alkalmi feladata volt, így a mintapéldány egy variapanelre készült el. A hangfrekvenciás tartományra hosszú távon berendezkedők készíthetnek hozzá nyákterves kivitelt is, önálló készülék megjelenést kölcsönözve neki. Azt is láthatjuk, hogy a szelektív hálózat (Wien-osztó) a kapcsolás *A, B, C* pontjain csatlakozik a főáramkörhöz. Az előtte levő tagoknak így nem adtunk pozíciószámot sem. A generátor hangolása a kettős, 10 kohmos, lineáris karakterisztikájú potenciométerrel lehetséges. A C^x tagokat pedig a kívánt frekvenciaátfogásnak megfelelően választhatjuk meg. Amennyiben a kondenzátorok rendre 100 pF, 1,5 nF, 15 nF, 150 nF, 1,5 uF, úgy ezzel az öt sávval a 100 Hz-től az 1 MHz-ig terjedő frekvenciatartományt lehet átfogni.

Az egység beállításához oszcilloszkópra mindenképpen szükség van. Bekapcsoláskor szinte törvényszerűen vagy nem látunk kimenőjelet, vagy tápig kivezérlődő négyszögjelet tapasztalunk. Ekkor jön a képbe a szintbeállító P1 „bűvölése". Állításával érzékenyen be lehet szabályozni a már szemre szép szinuszjelet. Az alkalmazott skálaizzó az egyik leggyakrabban használt típus, szinte biztos, hogy minden elektronikával foglalkozónak van ilyen. A beállítást minden sávban (ha olyat készítünk) ellenőrizzük, szükség esetén finomítsunk rajta! Először tehát ezeket elvégezzük, s a szokásos időtartományban kapott eredményt a **14. ábrán** mutatjuk. Szóval szemre már tetszene is a jel, de nyugodtak lehetünk? Klasszikus analóg oszcilloszkóppal sokkal messzebbre nem juthatunk, egy torzításmérő is

kellene. Viszont egyre inkább elérhető (megfizethető) a digitális oszcilloszkóp, mint a mai kor elektronikusának elengedhetetlen mérőműszere. Az ezzel rendelkezőknek adunk akkor további beállítási „csemegét”. Segítségünkre a Rigol alapszintű kis készüléke lesz. Aktiváljuk annak az FFT (gyors Furier transzformáció) funkcióját, és az iménti jelünk spektrális képét az **15. ábra** alsó képmezejében mutatjuk. Nos, kellőképpen elborzadunk a harmonikusok magas szintű jelenlétén, ami jelentős torzításra utal. A kurzorok a harmadik harmonikus adatait mutatják. Ezek után tovább finomítva az áramkör beállítását a **16. ábrához** jutunk, ahol gyakorlatilag a zajból nem vehető ki a harmonikusok jelenléte (na persze ennél a műszernél). Így gyakorlatilag be tudtuk állítani a jó torzítási mutatókkal rendelkező szinuszjelet.



14. ábra

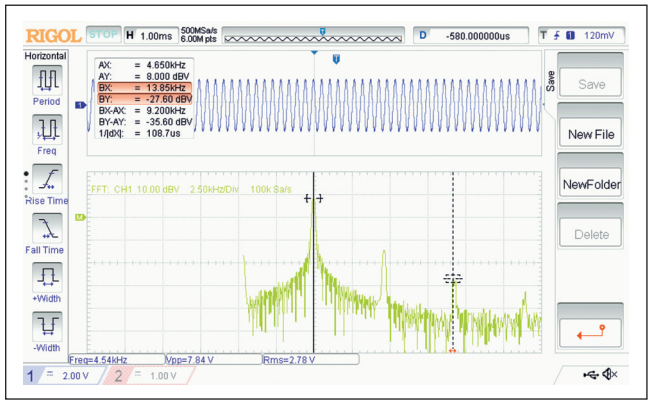
4. Elektronikus „próbalámpa”.

Fejezetünk címe tekinthető gyűjtőfogalomnak is. Alapvetően a vezetékes (v. erősáramú) technikában használatos, ún. kicsengető egység népszerű elnevezése volt a próbalámpa. Néha tényleg csengővel, gyakorta egy izzólámpával+zsebteleppel lehetett megoldani pl. vezetékpárok végeinek azonosítását, „kicsengetését”. Azonban valamely áramköri szakasz folytonosságát, zárlatát, jó kontaktusának meglétét kimutatni elektronikai áramköröknél is szükséges, így az erre a célra készített – gyakorta eltérő szolgáltatású – kis berendezések is ebbe a kategóriába sorolhatók. Nevezhetjük így az alábbi áramköreinket folytonosság-, kontaktvizsgáló, zárlatkereső, szakadáskimutató stb. berendezéseknek. Ugyanerre (vagy hasonló) célra szolgálnak a ma már alapfelszerelésnek tekinthető DMM-ek szakadásvizsgáló, vagy éppen ohmmérő funkciója, de ezek használata a félvezetőket, integrált áramköröket tartalmazó elektronikai paneleken – az előbbi elemekre nézve – veszélyes lehet. Már egy 1,5 V-os elemmel működő ohmmérő akaratlanul is kinyithat p-n átmeneteket, akár 100 mA-es áramot rájuk kényszerítve! Ugyanez a helyzet a klasszikus próbalámpák elektronikai panelen történő alkalmazásával. A jelen helyzetben pedig elvárás az ún. *„in circuit”* vizsgálati lehetőség, amely a beültetett panelen történő biztonságos vizsgálatokat teszi lehetővé. Erre pedig a DMM-ek többsége nem alkalmas! Ha csupán a folytonosság (v. zárlat) kimutatása a feladatunk, akkor erre a munkára jobb választás a céltészter, mert pl. a DMM kijelzőjét nem kell figyelni (figyelemelvonás az áramkörről), mindkét szemünk „szabad marad”.

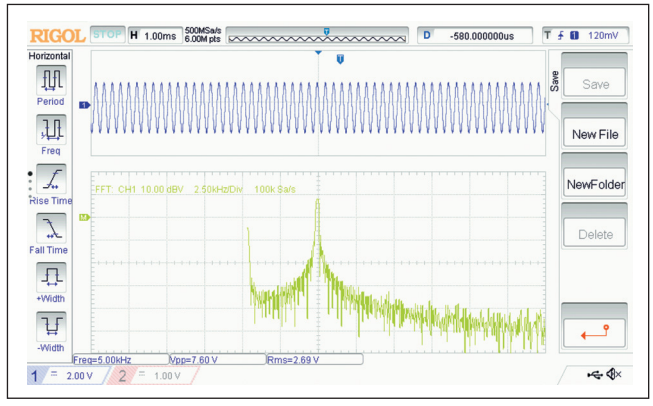
Másrészről, ha meg akarjuk vizsgálni egy félvezetőkkel teli nyomtatott áramkör egy adott szakaszának folytonosságát, felvetődik a kérdés: mit is tekintünk két áramköri pont folytonosságának? Természetesen a zérushoz közeli ellenállásértéket. Megvizsgáltunk e szempontból három (régebbi típusú) DMM szakadásvizsgálóját (csipogó), s azt tapasztaltuk, hogy 30….80 ohm értéknél még rövidzárt csipogott. A 80 ohm nem rövidzár, a mérés adott esetben félrevezethet! A fenti hosszabb bevezetőnk arra kívánt rávilágítani, hogy az adott feladatra, és/vagy körülményekhez kell mérőműszert választani, annak kijelzését pedig megfelelően értelmezni. Ugyanakkor segítséget akartunk adni ahhoz is, hogy milyen szempontok szerint válogassunk a neten nagy számban fellelhető különböző kapcsolások szolgáltatásai közül, már ha egyáltalán működőképesek. Az itt közölt kapcsolásokat pedig e szempontból részletesen be is mutatjuk.

4.1. A takarékos

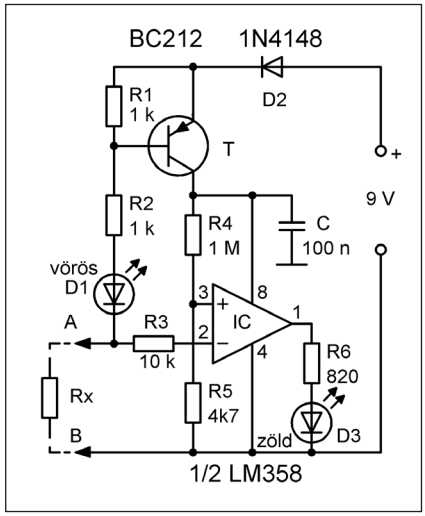
Első típusunkat, melynek elvi rajzát a **17. ábrán** mutatjuk, s tekinthetjük az elemi próbalámpa elektronikus változa-



15. ábra



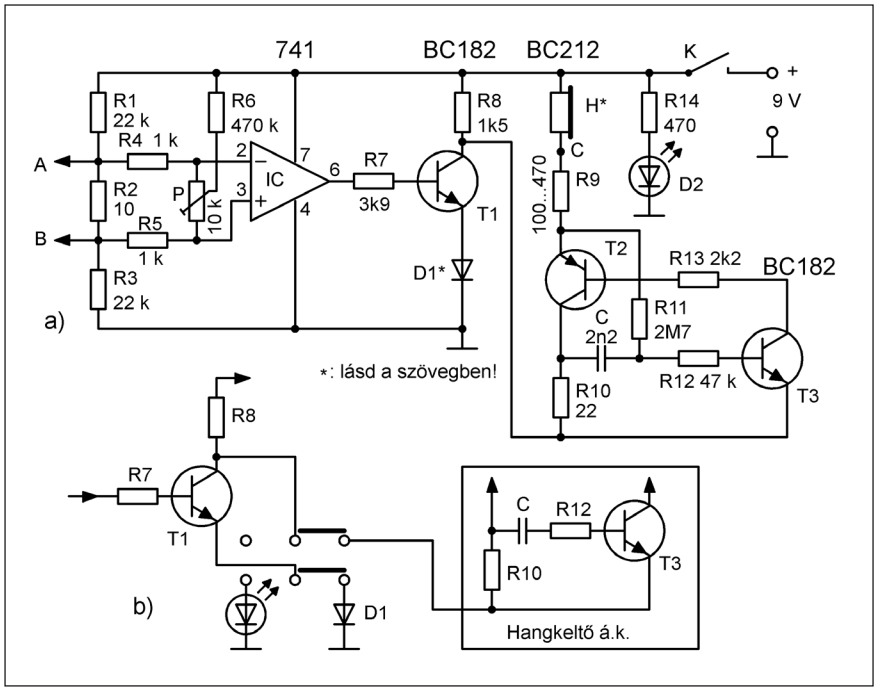
16. ábra



17. ábra

tának. Az áramkör lelke az ½ LM358-as IC-re épült komparátor áramkör. Ennek referenciáját a neminvertáló bemeneten az R4, R5 ellenállásosztó kb. 40 mV-ra állítja be. A műveleti erősítő és a referenciaosztó pedig akkor kap tápfeszültséget, amikor a T kinyit. Ez pedig akkor következik be, amikor a tapintócsúcsok (*A*, *B*) ellenállást „látnak”. Így tehát attól takarékos az áramkör, hogy üzemszerűen csak akkor van áramfelvétele, mikor a tapintócsúcsokkal dolgozunk, standby fogyasztása nincs. A tranzisztor munkapontbeállító hálózata (R1, R2) meghatározza a D1 LED áramát is, amely akkor folyik, ha az *A*-*B* pontokat zárjuk. A rajzon megadott értékekkel ez kb. 4-5 mA. Az ennek hatására az *A*-*B* pontokon létrejövő feszültségesést az IC invertáló bemenete figyeli. A vizsgálandó ellenálláson is átfolyó LED-áramnak valamivel nagyobb feszültséget kell ejtenie, mint 40 mV. Könnyen belátható, hogy ez kb. 10 ohmnál (vagy nagyobb) következik be, s ekkor a komparátor kimenete előjelet vált, **L** szintű lesz.

Az egység tehát úgy működik, hogy 10 ohm vagy az alatti (végletesen rövidzár) Rx ellenállás esetén a neminvertáló bemenet érvényesül, a zöld LED világít a pirossal együtt. Ennél nagyobb ellenállásértéknél a komparátor váltása miatt zöld LED kialszik, csak a piros világít. Körülbelül 10 kohm Rx értéknél pedig már a piros LED sem fog világítani. A kapcsolás tehát teljesíti a csak kis ellenállást folytonosságnak érzékelő feltételünket, viszont nem alkalmas in circiut vizsgálatokra, mert a tapintás pillanatában kb. 7 V-al „lép be” a vizsgált pontra. Igazi kis próbalámpa! Az áramkör kismértékű módosításával a készülék „érzékenysége” tovább növelhető vagy a referenciaérték (40 mV) csökkentésével, vagy a D1 áramának növelésével (R1, R2 csökkentése). Ezen törekvésünknek viszont határt szab(hat) a választott műveleti erősítő ofszetfeszültsége. A kapcsolás pedig kiegészíthető akusztikus kijelzéssel is, amire a további áramköreinknél mutatunk példákat is, miként a technológiai kivitelezésre is.



18. ábra

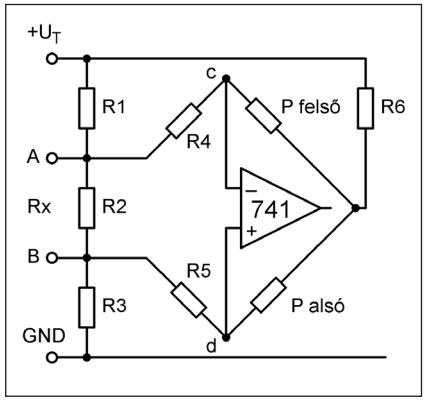
4.2. A sztenderd

A következő kapcsolásunk az 1980-as évek óta van jelen az elektronikai világunkban, s talán az *Elektor 1982/4-es számában* volt látható először. Néhány évvel később lapunk is bemutatta (*Rádiótechnika 1988/6*), s használhatósága azóta is töretlen. Köszönheti ezt annak, hogy a bevezetőben említett követelményrendszert korát megelőzően, már akkor teljesítette. Az eredeti ötletet meghagyva, az indikálás másmás igényekhez szabott módozataival mutatjuk itt is be újra. Kiinduló kapcsolási rajzunkat a **18.a ábrán** mutatjuk. (Megjegyezzük, hogy az alapötlet a neten is sok forrásból fellelhető, de egyrészt gyakorta elrajzolva, másrészt egészen félreértelmezett, vagy semmitmondó működési leírással.)

Az áramkör „lelke” a „magára hagyott”, azaz nyílthurkú erősítőként üzemelő műveleti erősítő, itt komparátorként használva. Ez azt jelenti, hogy a bemenetein levő legkisebb előjelesen értelmezett potenciálkülönbséget a tápfeszültségig történő erősítéssel erősíti. Nézzük meg, hogy hogyan alakul ki ez a potenciálkülönbség a két alapesetben, s ehhez gondolatban a műveleti erősítőt emeljük ki az áramkörből (**19. ábra**)! Ekkor azt látjuk, hogy az R4 és az R5 ellenállás, valamint a P potenciométer állásának aktuális két oldala egy ellenálláshidat alkotnak. (Ennek átlójában, mint egy érzékeny galvanométer, volt a műveleti erősítő) A híd pedig az R1, R2, R3 osztó által a 9 V-os tápból kb. 4,5 V-ra elő van feszítve.

Ez lenne, ha csak az R1 és az R3 szerepelne az osztóban. Egy kicsi „csúszás” van a dologban R2 beillesztésével. Az osztó árama ezen – a másik két taghoz mérten – csekély értékű (10 ohmos) ellenálláson 2 mV-os feszültségesést hoz létre. Az R2 ellenállás két végéhez csatlakozik a tapintócsúcsokkal ellátott mérővezetékünk, azaz a folytonossági vizsgálati feszültségünk ez az extrém kis értékű 2 mV lesz. Ez az érték még a CMOS áramkörökben történő „in circuit” vizsgálatokat is gond nélkül tesz lehetővé.

Először a *nyitott bemenettel* foglalkozunk. Fontos megjegyeznünk, hogy ezt a feszültségértéket – nyitott tapintócsúcsoknál – semmilyen más áramköri elem nem befolyásolja, mi-



19. ábra

ként azt gondolhatnánk pl. P-re vonatkozólag. Erről pedig R6 nagyságrenddel nagyobb értéke gondoskodik. Amennyiben pedig ha a híd megfelelő ellenállásai megegyeznek, úgy ez a 2 mV-os „jel" a *C-D* pontokon is megjelenik, amely majd az IC bemenőjelét képezi. Ez az állapot pedig a potenciométer kb. középállásában (5-5 kohm) következik be. A *C-D* pontokra pedig már hat a potenciométer szabályozása, ahol -6,5 mV-tól +10,2 mV-ig terjedő potenciálkülönbséget állíthatunk be. (Az előjel kérdése viszonylagos, hiszen a *C-D* pontok között mérünk.) Ez a szabályozhatóság később igen fontos lesz.

Zárjuk most rövidre az *A-B* pontokat (ez a másik szélső eset)! Ekkor a bemeneti pontok potenciálkülönbsége zérus lesz, s a potenciométer említett középállásban a *C-D* pontok között szintén 0 mérhető. Látjuk tehát, hogy minden további más külső, s R2-öt söntölő, vizsgált Rx értékre a híd kiegyenlíthető.

Helyezzük be a műveleti erősítőt, amelynek a bemeneti jelét a *C-D* pontok adják! A két „áramköri egység" pedig a következőképpen működik együtt. Az első esetben a mérőcsúcsok szabadon vannak, a vezérlőjel az előbbieknek megfelelően 2 mV úgy, hogy annak pozitív „oldala" a műveleti erősítő invertáló bemenetére hat. Ekkor az OPA kimenetén alacsony szint (közel testpotenciál) található. Fontos tudnunk, hogy ez a kialakult finom egyensúly a potenciométerrel (lásd a fenti szabályozási tartományát) eltolható, s akár az ellenkező kimeneti értékre átbillenthető. Figyelembe veendő továbbá a műveleti erősítő nem ideális volta, azaz nem végtelen a bemeneti ellenállása, rendelkezik valamekkora bemeneti munkaponti árammal (input bias current), ami a hídegyensúlyt önmagában felborítja. Ezt is ki tudjuk kompenzálni a potenciométer szabályozhatóságával. Másképpen fogalmazva: IC-csere esetén újra kell „kalibrálni" teszterünket.

Amennyiben a mérőcsúcsokat rövidre zárjuk, a kívülről jövő, a bemenetek vezérlő feszültség megszűnik, s ekkor az R6-P által beállított, s a műveleti erősítő bemenetére ható feszültség fog érvényesülni, amelyet úgy állítunk be, hogy az IC neminvertáló bemeneten legyen a magasabb érték, s ekkor a kimenet magas szintre vált. Az előző gondolatmenet szerint beállítható, hogy 0…10 ohm között melyik Rx értékre „szólaljon" meg a kimenet, s ez akusztikus kijelzéssel szó szerint is értendő.

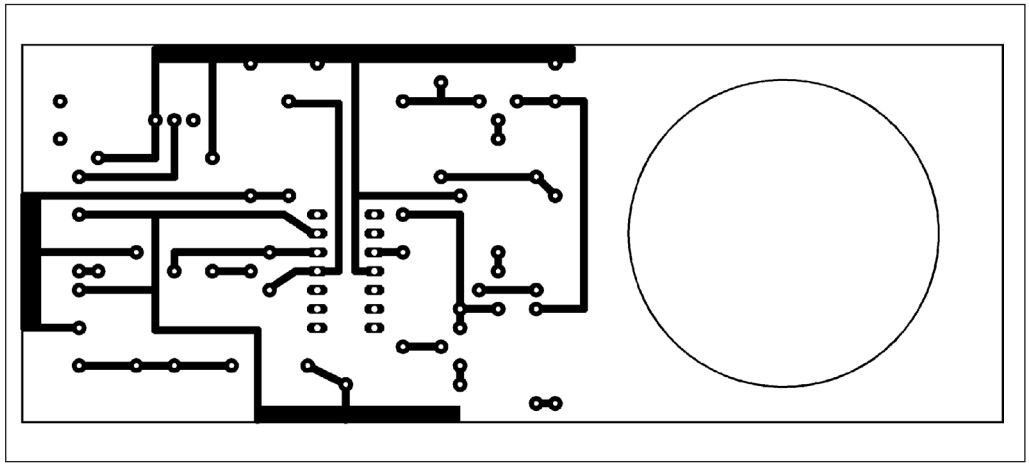
Érdekes kérdés még a műveleti erősítők különböző technológiájú típusainak alkalmazása. Három változatot vizsgáltunk: a bipoláris típust (uA741), a jFET bemenetűt (TL071), valamint a BiMOS technológiájút (CA3130). Ezek bias áramai között nagyságrendi különbségek vannak (741 = 80…100 nA, TL071 = 20 pA, CA3030 = 5 pA, a szerző rendelkezésére álló katalógusok szerint), és paradox módon a legősibb típus, a 741-es vált be erre a feladatra a legjobban. Ugyanis kis ellenállásváltozás (Rx) a viszonylag nagy bemenőárama miatt észrevehető hídegyensúly-felborulást okoz, gyorsabban reagál. Megjegyezzük, hogy mindhárom típus kipróbálásakor – a potenciométer más-más állása mellett – a hídegyensúly, illetve adott Rx-re való kibillentésére beállítható volt. A „leglustábbnak" azonban a szinte bemenőáram nélküli CA3130-as bizonyult.

A tényleges mérőegységet a kijelző áramköri megoldás követi, amely alapesetben akusztikus. Egy komplementer tranzisztoros hangkeltő egység egy klasszikus telefonhallgatót (vagy egy nagyohmos miniatűr hangszórót) hajt meg kb. 800 Hz-es frekvenciával. Nem titkolt cél volt a relatíve nagy hangerő, elfogadható fogyasztás mellett. (16/30 mA a stand-by/sípolás vonatkozásában.) Ezzel a megoldással zajos környezetben, vagy rosszul halló felhasználó esetében is megbízható jelzést kapunk. A két egység között illesztő feladatot lát el T1, a szintemelő D1 diódával együtt. Ez utóbbira azért van szükség, mert pl. a 741-es kimenete egytelepes táplálás esetén nem tud 0-ra „leülni", **L** szintű kimenete tipikusan 1,5…2 V. Ezt a szintemelési „problémát" pedig részleteiben az elkészítési fejezetben tárgyaljuk. A T1 tranzisztor pedig a hangkeltő áramköri résznek egyik tápfeszültség-ágát szolgáltatja. Ugyanakkor ezt a „lármás" kis készüléket „családbaráttá" tehetjük úgy, hogy szükség szerint a hangjelzést kiiktatva egy LED-es indikálást használunk helyette. Az üzemmódváltás egy kétáramkörös, kétállású kapcsolóval megvalósítható. Ennek áramköri elrendezését a **18.b ábrán** mutatjuk.

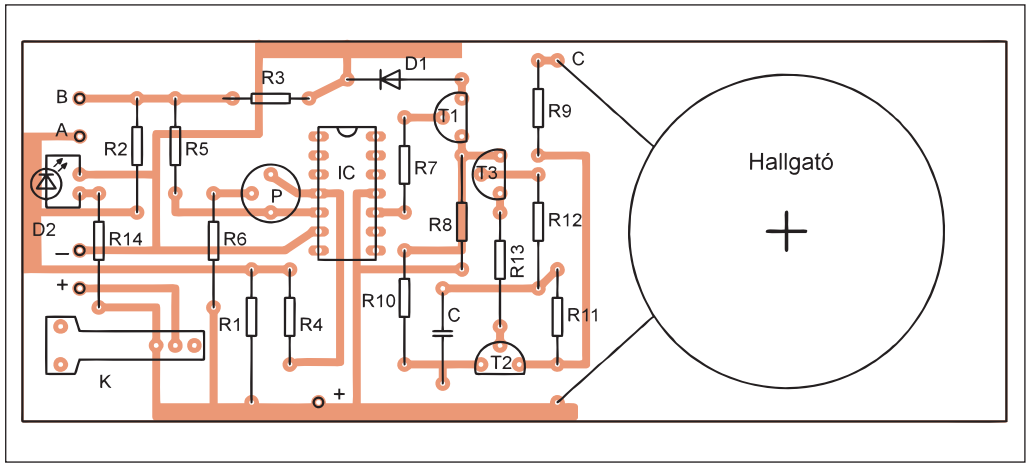
Elkészítés, beállítás

Elektronikus próbalámpánk 50 × 130 mm méretű nyáktervét a **20. ábrán**, míg annak beültetési rajzát a **21. ábrán** mutatjuk. A tervek az alapesetre vonatkoznak, de a családbarát változathoz sem kell alapvetően a nyákterven változtatni, amennyiben a kapcsolót külső alkatelemként kezeljük, amit a készülékdobozba építünk be. Ma már kevesek rendelkeznek DIP-14 tokozású 741-gyel. A modernebb DIP-8 tokos 741-es (ill. a helyette használható még korszerűbb 8 lábú OPA-k valamelyike, mint pl. a TL071) minden további nélkül beforraszthatók a panelba, ha a 8 lábú tok 1. lábát a 14 furatos nyákhely 3. furatába helyezzük.

Beültetés után az egyes egységek egymástól függetlenül élesíthetők. A legkevesebb dolgunk az astabil áramkörrel van, tápfeszültségre kötve (a testpontot ekkor még külön adjuk neki) meg kell szólalnia. A frekvenciát a C, míg a hangerőt az R9 módosításával igazíthatjuk igényeinkhez. A hangerő pedig függhet a telefonhallgató típusától, illetve az astabil fokozat tápfeszültségétől. Ez utóbbi felvetés értelmetlennek tűnhet, hiszen a telepfeszültségünk adott. Itt válik lényeges kérdéssé azonban, hogy milyen IC-t használunk, s az a bizonyos szintemelés hogyan valósul meg. Elvi rajzunkon ezt a D1 biztosítja, de ez az áramköri elrendezés csak a TL071-es IC-hez alkalmas, melynek **L** kimeneti szintje 0,8 V. Ez a szint pedig nem tudja nyitásba vezérelni a kb. 1,2 V-ra emelt T1 bázisát. Ebből következik, hogy a T1 nyitásakor az astabil egység kb. 1 V-tal kevesebbet kap a telepfeszültségnél. Amennyiben uA741-et használunk, melynek „alap kimenőszintje" kb. 2 V, D1 helyén egy 2,7 V-os Z-dióda legyen természetesen „zeneres bekötéssel". Ekkor már az astabil működtetésekor (a T1 kivezérlésekor) kb. 3 V-tal kap keveseb-



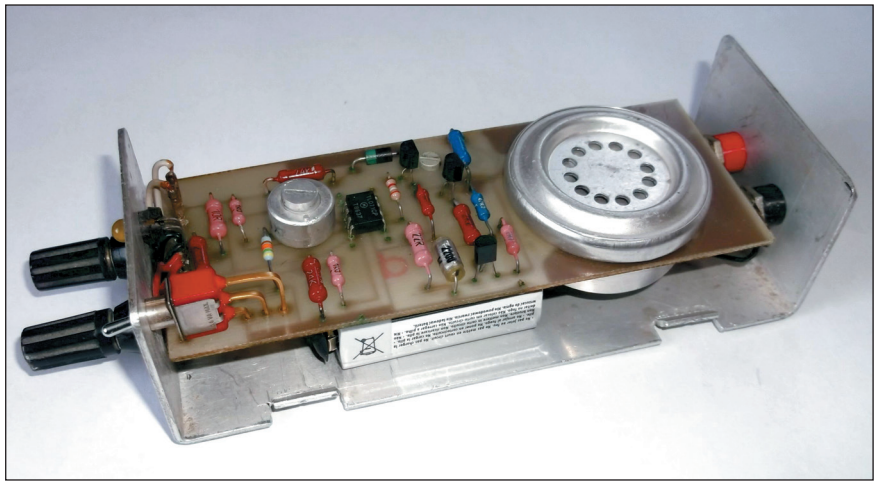
20. ábra



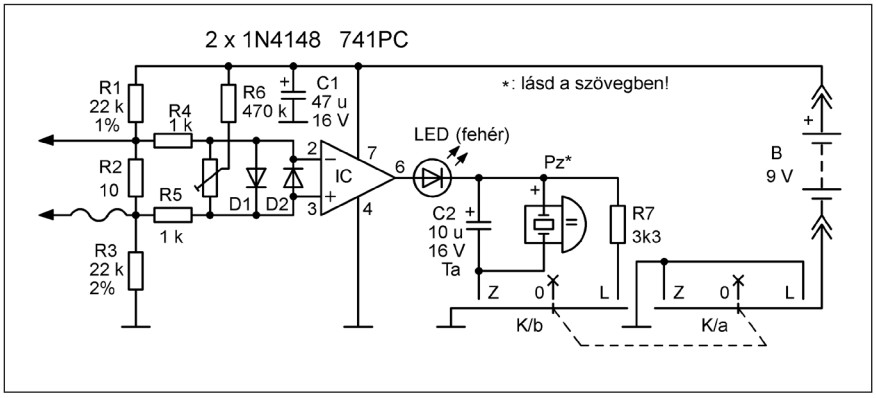
21. ábra

bet a telepfeszültségnél. A tapasztalat szerint még így is jelentős hangerőre számíthatunk. Az astabil a teljes tápfeszültséget kapja, ha a szinteltolást a T1 báziskörében valósítjuk meg. Ehhez egy 3,3 V-os zenert az R7-es ellenállással kössünk sorba, így T1 nyitásakor annak kollektorán ténylegesen 0 lesz mérhető. Hosszas okfejtésünk célja pedig az volt, hogy merjük használni az elavult (s nagy számban fiókokban „porosodó") 741-es IC-t, s ehhez a nyáktervet sem kell módosítani.

A mérőegység beállítására már az elvi működés bemutatásánál utaltunk, itt most már csak röviden foglalkozunk vele. A hangjelzés működésének birtokában a készüléket bekapcsolva, az vagy sípolni fog, vagy nem. Nyitott tapintócsúcsok mellett P állításával érjük el, hogy a készülék éppen ne szólaljon meg. A mérővezetéket ekkor összezárva a hangjelzésnek működnie kell. Ezek után a bemenetre tegyünk egy 3…5,1 ohm közötti ellenállást. Például 3 ohm esetén úgy szabályozzunk a potenciométerrel, hogy azt még éppen „észrevegye". Ezek után, ha az 5,1 ohmot helyezzük az *A-B* pontok közé, arra már nem szabad reagálnia. A levezetésnél láttuk, hogy elméletileg (és a gyakorlatban is) az érzékenységi küszöböt 1 ohm közelébe levihetjük, de nem ajánlatos. Tudniillik az IC ofszetjének vándorlása ennél az érzékenységnél már bizonytalanná teszi a stabil működést. Megjegyezzük, hogy a tok ofszetfeszültsége külön kompenzálható volna az *1-5 lábaira* és a *GND*-re kötött potenciométerrel, de itt nem éltünk vele. Mint ahogy nem éltünk a műveleti erősítő bemeneteinek védelmi mechanizmusával sem, ami tipikusan az odakötött antiparalel diódapárral biztosítható. Igény estén ez a nyákoldalra külön felforraszthető. Érzékeny kérdés lehet még az R2 terhelhetősége. Adott vizsgálati szituációban nagy energiákat kell(ene) magára vennie, pl. egy 2200 uF/63 V-os kondenzátor „vizsgálatakor". Garantált a tönkremenetel egy tizedwattos R2 esetén. Ha erre – azért ritka esetre – is biztosítani kívánjuk magunkat, akkor ültessünk be ide egy 3-5 W-os típust. Használatakor pedig ügyeljünk arra, hogy a mérőkontaktus (tapintócsúcs, krokodilcsipesz, stb.) mindig tiszta, oxidmentes állapotban legyen! Ha azok átmeneti ellenállása összemérhető a műszerünk érzékenységi ellenállásával, akkor hamis jelzést kaphatunk. A működési elvből adódik, hogy a telepfeszültég csökkenésének hatása egy bizonyos értékig nem érezhető a működésben (tapasztalat szerint ez 6,5…7 V-ot jelent), ha meg már igen, akkor a telep tényleg



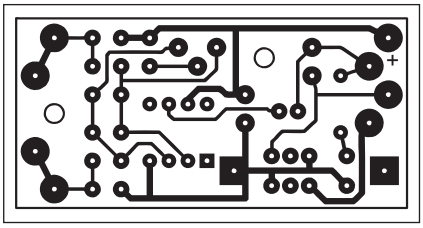
22. ábra



23. ábra

kimerültnek tekinthető, cserélni kell. A több példányban elkészült, s kötelezően (?) fémdobozba tokozott berendezésünk képét a **22. ábrán** mutatjuk, 8 lábú 741-gyel beültetve.

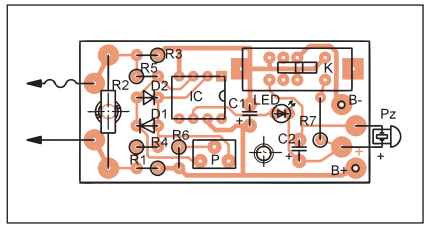
4.3. A változatok



24. ábra

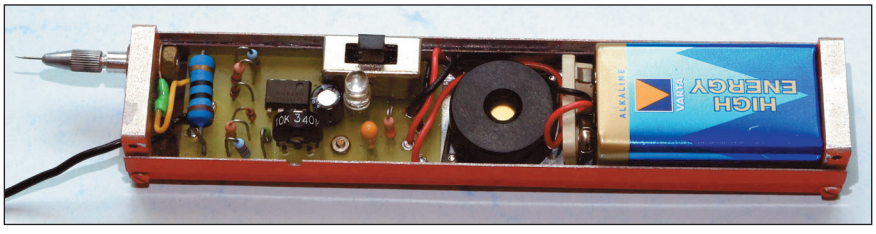
Célunk lehet elmenni a készülék miniatürizálásának irányába is olyan konstrukció létrehozásával, ami pl. egy kézben tartható „ceruza” típusú kivitelt jelenthet. (Erre már láttunk példát a 6. ábra kapcsán.) Ehhez persze szakítanunk kell a telefonhallgató (v. hangszóró) méretéből adódó használatával, helyette pl. egy aktív piezokapszulát használhatunk. Célszerűnek tűnne az SM technológia alkalmazása is, de a 9 V-os rádiótelep alkalmazása a méreteket eleve behatárolja. Így az nem jelentene számottevő méretcsökkenést a „lábas alkatrészek” használatához képest. Egy lehetséges konstrukciót dolgozott ki *Pálinkás Tibor szerkesztő úr*, akinek közlési jóváhagyásával mutatjuk itt be készülékét. A helytakarékos vizsgáló műszer kapcsolási rajza a **23. ábrán** látható. Észrevehetjük, hogy a mérőmű változatlan azzal a kitétellel, hogy az OPA és az R2 védelméről a korábban elmondottakat itt közvetlenül alkalmazzuk (D1, D2, 3 W-os R2).

Jelentősen változott viszont az



25. ábra

akusztikus kijelzés, amely kombinálva van – a családbarát követelményhez igazodó – LED-es megjelenítéssel. A kezelőelem a K háromállású, kétáramkörös tolókapcsoló. Középső állásában (0) az eszköz ki van kapcsolva. Ha azt „*Z*”-be állítjuk, akkor a folytonosságot (zárlatot) a LED és a zümmer együttesen indikálják. A kapcsoló „*L*” állásában a zümmer helyére az R7 iktatódik be, és csak a LED indikál. (Attól családbarát, hogy lehetővé válik az estvéli munkavégzés a család szórakozásának megzavarása nélkül.) Az áramfelvétele pedig 9 V-ról mindkét esetben kb. 2,5 mA. Az elv megvalósításához adunk segítséget a 25,5 × 52 mm-es nyákterv (**24. ábra**), valamint annak beültetési rajzának (**25. ábra**) közreadásával. Minden egyéb tulajdonságbeli, és beállítási információ az előzőekben olvasható. Az 5 V-os, aktív (azaz belső saját oszcillátort tartalmazó), hangolt üregű piezozümmer a kapcsolásban min. 4,5 V-ot kap, így meglehetősen nagy hangerőre számíthatunk. A zümmer pedig – a kézirat szövegezésének idején – pl. a *HAM-bazárból* beszerezhető. A konstruktőr mintakészülékének fotóját leemelt fedéllel a **26. ábrán** mutatjuk.

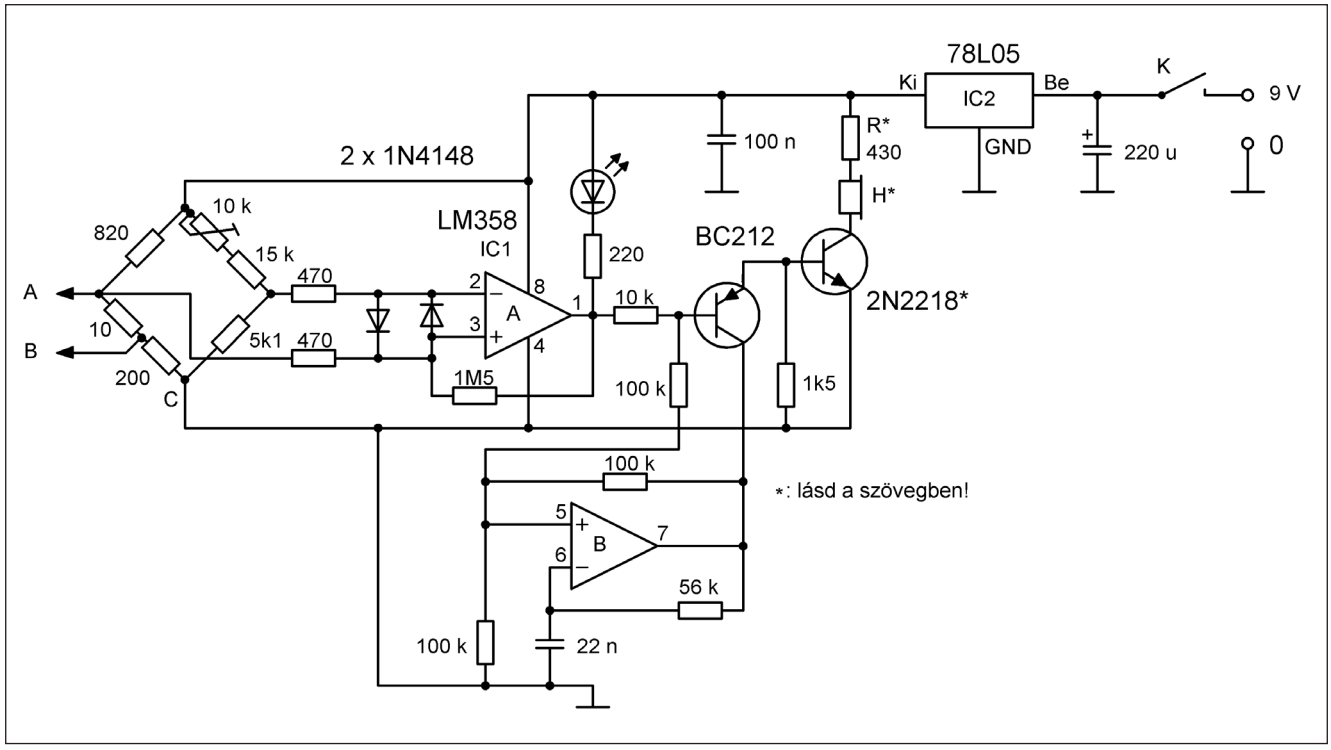


26. ábra

Végezetül egy újabb – s szintén nagy hangerejű – akusztikus kijelzési megoldást láthatunk a **27. ábrán**. A mérőmű egy Wheatstone-híd átlójába kötött – ezúttal hiszterézises – komparátor itt is, működési újdonsággal nem szolgálhatunk. A mérési feszültség jelen esetben 50 mV (a 10 ohmon), ami még bőven az „in circuit” mérési lehetőség limitje alatt van. A beállítható ellenállásérzékenység tipikusan 2 ohm körüli, áramkörileg a 10 kohmos potenciométerrel 0,5….5 ohm között állítható. A hangkeltő egység egy műveleti erősítős (az LM358 másik fele) astabil multivibrátor 800 Hz körüli frekvenciával. Az oszcillátor állandóan „jár”, de a kimeneten érvényesülni (a BC212-es tranzisztoron keresztül) csak a komparátor megfelelő átbillenésekor tud. A hallgató (kishangszóró) teljesítményillesztését pedig a 2N2218 (2N2222 stb.) típusú tranzisztor végzi, amit cseréljünk le BD139-re, ha a „végfokot” 9 V-ra kötnénk. A híd alkalmazásának köszönhetően a kapcsolás nem érzékeny a tápfeszültség és a környezeti hőmérséklet-változás ingadozásaival szemben, hiszen csak a hídegyensúly felborulását detektálja. Ennek ellenére kapott még egy plusz stabilizáló elemet is (7805) a tápfeszültség-ágban. Ehhez a típushoz, noha a szokásos „kínvallatáson” keresztülment, építési útmutatót már nem adunk. Véljük, hogy aki az előzőeket már feldolgozta, s erre esik a választása, annak az elkészítése nem jelenthet akadályt.

5. Infravörös távirányító-teszter (IR-RC)

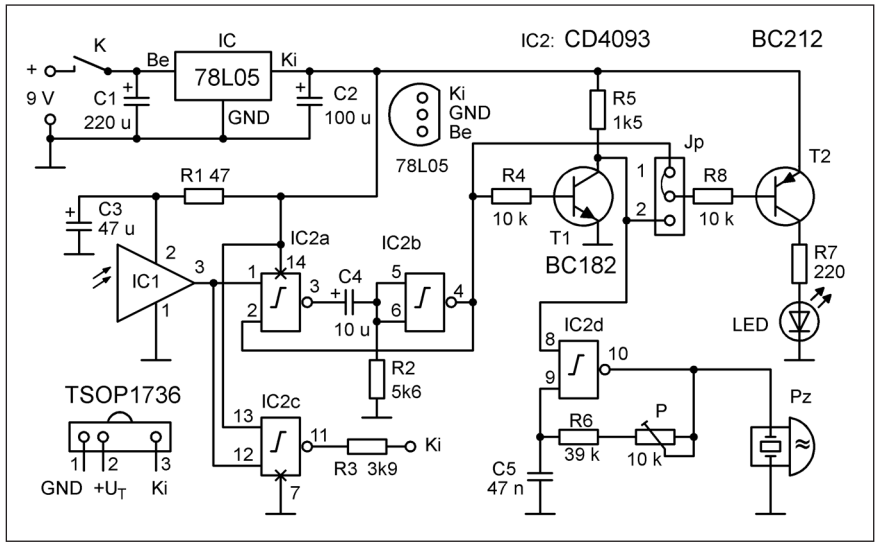
Manapság már a legtöbb otthoni készülékünk – legyen az okos, vagy buta – kezelése távirányítóval történik, túlságosan is elkényelmesítve létünket. Egy-egy lakásban több ilyen is szolgál tehát, ám azok megbízhatósága nem hozható párhuzamba szerepüknek fontosságukkal, időnként



27. ábra

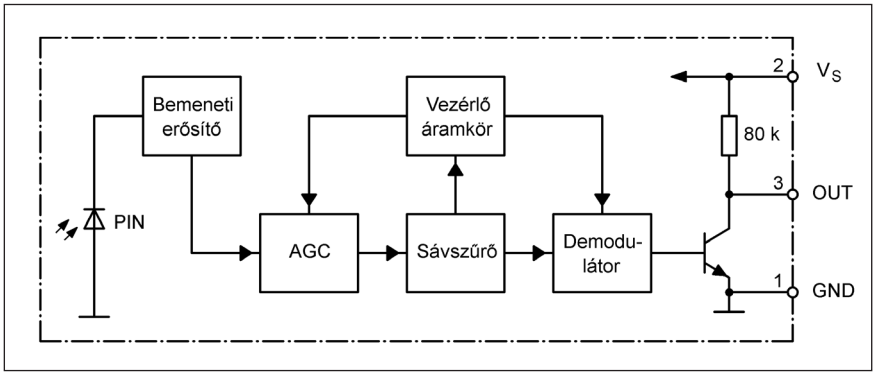
meghibásodhatnak. Azon túl, hogy akaratlanul is sérülhet némelyik (leesik, rálépünk, ital fröccsen rá stb.), a saját technológiai kivitelük is a tömeggyártás jellemző jegyeit viseli magán. Ez leginkább az egyes nyomógombok alatti primitív kontaktuskialakításában mutatkozik meg. Amikor egy ilyen távirányító (Remote Control, RC) nem teszi a dolgát – azaz a vezérelt készülék nem reagál annak adására – először a telepcserében gondolkodunk. Az esetek nagy részénél ez segít is, már ha a telepérintkezők megbízhatók (?). Amennyiben ezek után sincs meg az összeköttetés, akkor eldöntendő, hogy a hiba az anyakészülékben, vagy az RC egységben van-e. Mivel a kódot közvetítő infravörös sugár az emberi szemmel nem észlelhető, ránézésre nem lehet megállapítani, hogy a távirányító bocsát-e ki infrared (IR) sugarakat.

Valamely mechanikai sérülés okán előfordul, hogy csak bizonyos gombok üzenetét nem veszi a vezérelt berendezés. Ilyen esetben (is) jól jön egy olyan „kütyü”, ami kimutatja, hogy az IR egység bármely gombjának megnyomásával kiküldi-e a kódot, vagy sem. Kis berendezésünknek van még egy használati javallata, ami az előbbi tömeggyártási jelzőnkhöz köthető. Ugyanis működési anomália esetén a telepcsere után a gombok alatti érintkező felületek megtisztításában és/vagy „grafitozásában” gondolkozhatunk. Ehhez pedig szét kell szedni a távirányítót. Nos, ez az a művelet, amit csak egyszer tehetünk meg, pontosabban egyszer sem. Az utóbbi évek termékei olyan kivitelűek, hogy műanyag dobozának oldalai karmos fülek segítségével pattinthatók össze. Ezek a fülek pedig az első szétnyitáskor letörnek, aztán már csak pl. szigszalaggal rakhatjuk össze a dobozkát. Szóval ne akarjuk szétszedni távszabályozónkat, hacsak nem feltétlenül szükséges! Ezen döntésben pedig az alábbi kis készülékünk lesz segítségünkre.



28. ábra

Működést tekintve teszterünk arra „vállalkozik”, hogy az érzékelő ablakához jutó IR sugarakat veszi, azaz a vizsgált RC egység bármely gombját megnyomva, az elektronika villogó LED, illetve egy piezó megszólaltatásával jelenti is számunkra. A gombokhoz tartozó kódadatok elektronikus értelmezése nem feladata berendezésünknek, de a gyakorlatban nincs is rá nagyon szükségünk. Vizsgáló készülékünk kapcsolási rajzát a **28. ábrán**



29. ábra

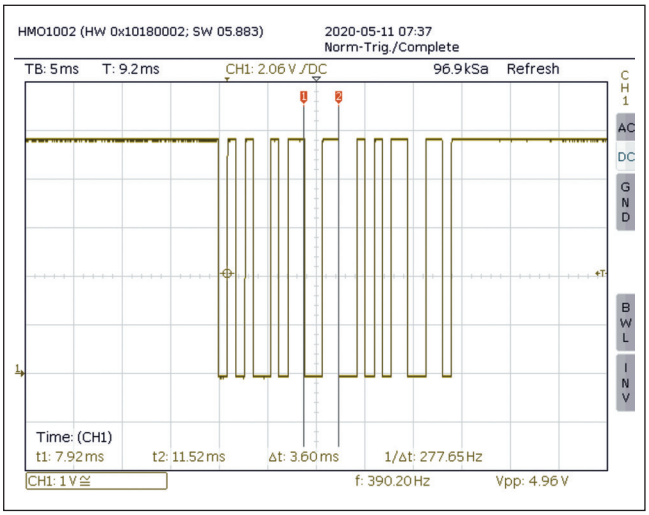
mutatjuk. Az igen egyszerű felépítésű elektronika központi eleme az IC1, az infravevő integrált áramkör. Választásunk több okból is az ebben a műfajban piacvezető Vishay-Telefunken gyártó TSOP sorozatán belül a TSOP1736-os típusára esett. Egyrészt ez a típuscsalád tekinthető a sztenderd alkalmazások infravevőjének, támogatja a legtöbb átviteli kódfajtát. Másrészt pedig a legkönnyebben lehet hozzájutni, pl. az újabb generációs, de már selejtezésre ítélt (?) tévékészülékekből. Mintakészülékünk ezen IC-jét is egy lapostévé-roncsból építettük ki.

A tok tömbvázlatáról (**29. ábra**) annyit kell tudni, hogy az infraérzékelő PIN-dióda az elektronika többi részével közös tokba integrált, mely utóbbinak epoxi anyagú kialakítása olyan, hogy egyben IR szűrőként is funkcionál, biztosítva a környezeti fényekkel szembeni nagyfokú védettséget. Az áramkört úgy tervezték, hogy kellő védelmet nyújt a zajok s egyéb zavaró jelekkel szemben. Ezt a tok belső sávszűrője+integrátora+AGC fokozata együttesen biztosítják. Az IC kimenete már demodulált jel, így a 36…38 kHz-es vivőjellel sincs különösebb gondunk. A kimeneti jel pedig TTL- és CMOS-kompatibilis.

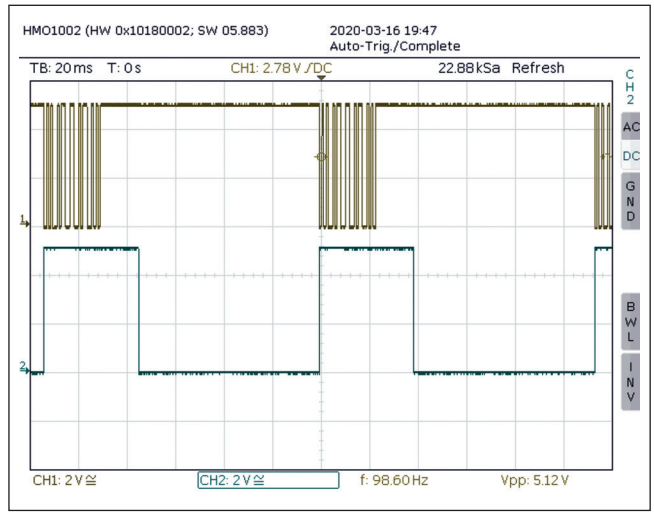
Az IC áramköri környezetbe helyezéséhez már megfogalmaztuk, hogy mire is legyen képes berendezésünk, de tudnunk kell a tok által szolgáltatott jelek „természetéről” is. A TSOP1736 kimenete alapállapotban tápfeszültségen (+5 V) van. A vizsgálandó távszabályozó által kiváltott kódolt IR sugár érzékelésekor egy lefutó élű impulzuscsomagot szolgáltat. Ezeknek a burst-öknek szélessége 25 ms, ismétlődési ideje pedig 90 ms (11 Hz). A csomagokban láthatjuk az egyes nyomógombokhoz tartozó impulzuskód-készletet. Egy kiragadott példát mutatunk a **30. ábrán**. Azt is megfigyelhetjük, hogy ez a bizonyos impulzuskészlet frekvenciája a hangfrekvenciás tartományba esik, ami a későbbiekben fontos információ lesz. Elvileg nem lenne más dolgunk tehát, mint egy HF oszcillátort indítani az IR-vevő IC jelével, s így hallanánk annak aktív működését. (Ezt az utat járja pl. a *Rádiótechnika Évönyve 2002-ben* közölt megoldás is.) Mivel azonban az impulzustartalom is a HF sávba esik, így az oszcillátor jelünk „vegyülne” a csomagjelekkel, gyakorta kioltva egymást. Az eredmény pedig csupán egy 11 Hz-es kattogó hang lesz a kimeneten, melyet ráadásul a lesugárzó eszköznek használt piezokapszula nagyon nem szeret.

A megoldás: a két dolog egymástól való függetlenítése. A burst-öket érzékeljük, de a csomag tartalmát (impulzusok) hagyjuk figyelmen kívül! Ennek értelmében az IR-vevő IC jelét egy lefutó élre induló monostabil áramköri részlet (IC2/a-b) fogadja. Annak időzítési ideje nagyobb, mint az indító burst szélessége, de biztonságosan kevesebb 90 ms-nál. A rajzi adatokkal a monostabil impulzusszélessége 40 ms (számított érték: 39,2 ms). Ez az az időtartam, mikor minden „zavaró jel” nélkül tudjuk működtetni a helyi oszcillátorunkat. Az itt leírt működési mechanizmust a **31. ábrán** követhetjük nyomon.

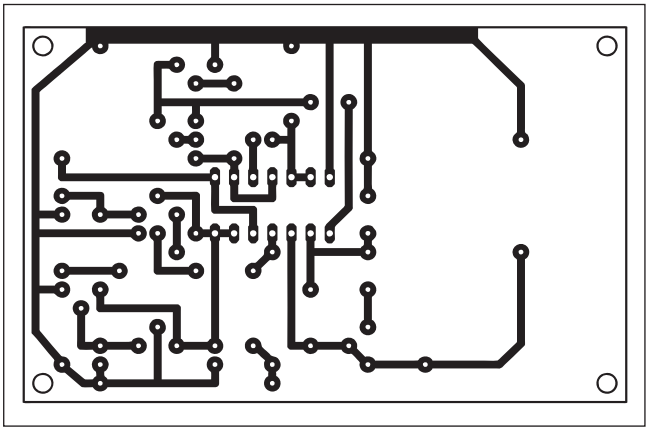
A jelző oszcillátort az IC2/d kapujából alakítottuk ki, melynek frekvenciáját az alkalmazott Pz piezokapszula (PT-2726P) rezonanciájához választottuk meg. A P potenciométerrel ezen rezonancia környezetében (700….900 Hz) lehet finoman hangolni. Az oszcillátor kapuzásához a monostabil kimenőjelét fázisában meg kell fordítani, ezt valósítja meg a T1. Az ismertetett „törzsáramköri” részleten túl a berendezés rendelkezik két extra szolgáltatással is. Egyrészt az IR impulzusok fogadását vizuálisan is kijelezzük, melyet a T2 által meghajtott LED biztosít. De luxe szolgáltatásként pedig



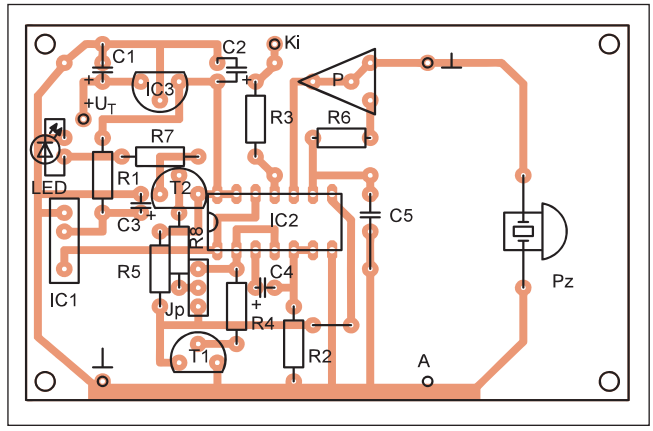
30. ábra



31. ábra



32. ábra

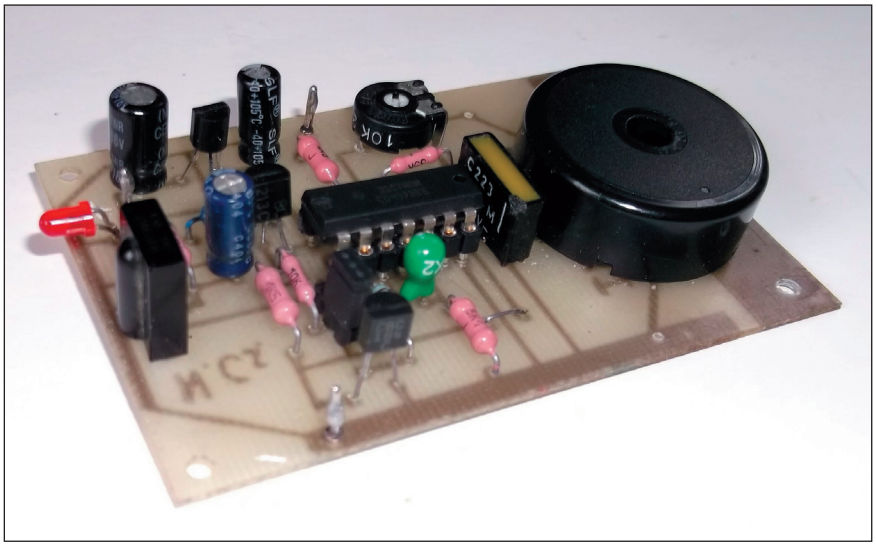


33. ábra

a LED üzemmódjában is választhatunk Jp jumper segítségével. Annak „*1*”-es állásában alaphelyzetben nem világít, majd az impulzusok vételekor a burst időnek megfelelően villog. Áthelyezve a „*2*”-es állásba, a LED alaphelyzetben világítani fog (bekapcsolt állapot indikálás), majd IR vételkor villog. Az IC2/c kapuja pedig az IR-vevő jelét fogadja (választja le), s továbbítja a csatlakozós kimenetre, ahol pl. oszcilloszkóppal vizsgálhatjuk a kódtartalmat. A kis elektronikát 9 V-os zsebtelepről stabil 5 V-ról működtetjük, amit a kapcsolásban IC3 valósít meg.

Elkészítés, használat

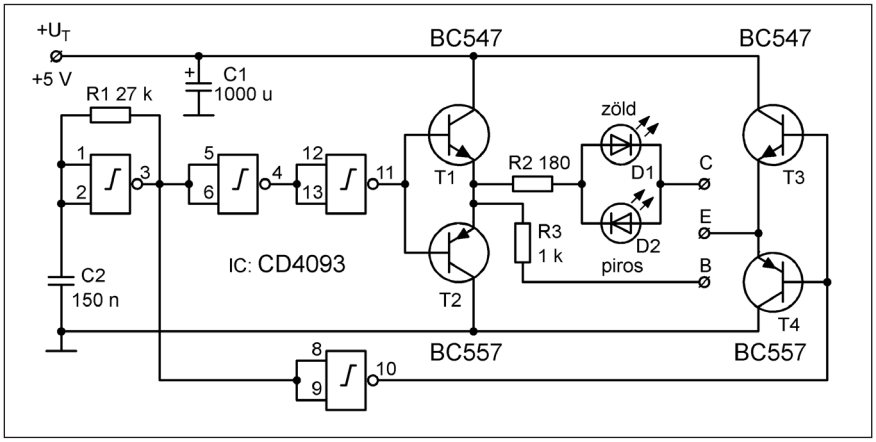
Az elektronikának egy 50 × 80 mm-es nyáktervet (**32. ábra**) készítettünk, melyhez tartozó beültetési rajzot a **33. ábrán** mutatjuk. Tipikusan olyan áramkörről van szó, amely gondos beültetés után azonnal üzemkész, bár a működési bemutatás során leírtakat érdemes műszeresen is ellenőrizni. A monostabil kvázistabil idejét, az oszcillátor frekvenciáját az IC1 behelyezése nélkül is mérhetjük, a szükséges finomításokat elvégezhetjük. Mert pl. nincs akadálya más tokozott piezó használatának sem, de ahhoz lehet, hogy az oszcillációs frekvencián módosítani kell. Ugyanúgy használhatunk más típusú IR-vevő IC-t is, de akkor meg a kvázistabil időt kell megfelelően megválasztani. Változatlan kondíciók mellett próbáltuk ki a TSOP58436-os típust is, de annak lábkiosztása már nem egyezik meg a 31. ábrán feltüntetettel. A szerelt elektronikánkat a **34. ábra** fotója mutatja. Dobozba helyezve egy kerek nyílást képezzünk ki az IR-vevő IC méreteihez igazodóan. Használata pedig végtelenül egyszerű: a vizsgált távirányítót ezen kis ablak felé irányítva, annak bármely gombjának megnyomására a már ismertetett hang-és fényjelzést kell adnia. A mintakészülék a szerző háztartásában előforduló valamenynyi RC egységére (a karácsonyfa fényfüzér-vezérlőjétől kezdve a CD-játszó kütyüjéig bezárólag) kitűnően vizsgázott.



34. ábra

6. Zárszó (helyett)

Ebben a szakaszban szokás a cikkben szereplő, különböző tematikájú kapcsolások általánosítható (jó) tulajdonságait összefoglalni, s kitekinteni a további alkalmazások lehetőségeit megvizsgálandó. Véljük azonban, hogy ebben a világjárványos időszakban született írás „szereplőinek” jó tulajdonságai már ismertetésükkor megmutatkoztak, s a további, a tárgyhoz köthető alkalmazások száma pedig nagy, s igen változatos tematikát mutathat. Válogatásunk így önkényes volt, s igazodott a szűkre szabott terjedelmi korlátokhoz is. Ez utóbbi tekintetében már nem kerülhetett sor pl. a kondenzátorokhoz köthető kiskütyük (párbaválogató, ESR teszter) bemutatására, melyre reményeink szerint később lesz lehetőség. További „sajnálkozás” helyett azonban rendhagyó módon ebbe a fejezetbe becsempészünk egy szinte semmilyen magyarázatra nem szoruló tesztelő kütyüt: a tranzisztortesztert. Ezt az elemet, s annak főbb jellemzőit már szinte kötelező jelleggel minden DMM méri, de hát a változatosság meg gyönyörködtet. Hétvégi kis kapcsolásunkat a **35. ábrán** láthatjuk. Egyetlen IC-vel megvalósítunk egy meghajtó oszcillátort kb. 500 Hz-es frekvenciával, melynek jelét ponáltan és negáltan is puffereli. Ez a két, ellenfázisú jel egy H-hidat hajt meg, melynek átlójában foglal helyet a vizsgálandó tranzisztor. Hibátlan tranzisztor esetén



35. ábra

az eszköz struktúrájának (npn, pnp) megfelelően a zöld vagy a piros LED fog világítani. A vizsgált félvezető zárlatakor mindkét LED világít, míg szakadáskor egyik sem. Előnye tehát, hogy a tranzisztornak a struktúráját nem kell ismernünk, azt a teszterünk automatikusan „felismeri", csupán a lábkiosztással kell tisztában lennünk. A kapcsolás nem más, mint egy újabb variáns a számtalan közül, de e sorok írójánál ez is sok éve szolgál. A gyakorlati kivitelezését az érdeklődők fantáziája biztosan számtalan formában teszi majd lehetővé. *Mindezekhez kívánunk hasznos időtöltést, s nem utolsó sorban eredményes használatot!*

Hi-Fi könyvek és KATONAI könyvek +1

A **3 db** Hi-Fi könyv együttes ára: csak **10.990 Ft** (+posta)

John L. Hood:
Csöves és tranzisztoros hangerősítők
3950 Ft (+posta)

Ágoston Lajos:
Audiofil erősítők építése (+ CD melléklet)
4490 Ft (+posta)

Ágoston Lajos:
Audiofil erősítők építése 2.
4950 Ft (+posta)

Balás B. - Dr. Rajnai:
Magyar katonai rádióállomások és rádiókészülékek 1914 – 1945
2990 Ft (+posta)

Dékány – Szőnyi:
A magyar katonai rádiófelderítés története
3990 Ft (+posta)

Balás B. Dénes:
A távírótól a rádióig
2990 Ft (+posta)

A **2+1 db** könyv együttes ára: csak **8.990 Ft** (+posta)

A hazai rövidhullámozás története +1

Wlassits Nándor:
Rövid Hullámok 1924 - 1934
1990 Ft (+posta)

Wlassits Nándor:
Rövid Hullámok 1934 - 1945
2990 Ft (+posta)

Stefanik Pál:
A magyar rövidhullámú amatőr rádiózás története 1945 - 1955
1990 Ft (+posta)

Wlassits Nándor:
Rádióamatőr múlt Békés megyében 1964 – 1990
1490 Ft (+posta)

Érsek János:
Rövidhullámú amatőr rádiózás A kezdetektől 1944-ig
1990 Ft (+posta)

Dr. Falus László:
Zelenka László, a rádiótechnika úttörője, a „magyar Edison"
2990 Ft (+posta)

A **6 db** könyv együttes ára: csak **10.990 Ft** (+posta)

Rádiótechnika szerk., HAM-bazár Bpest. XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó, Cs 09-17 ó.
1550 Budapest, Pf. 123 (+36 1) 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu 1

Technikatörténet – évszámokban

Pálinkás Tibor gépészmérnök, tpalinkas@radiovilag.hu

Évkönyvünk cikksorozatnak tekinthető állandó rovatának első közleménye az 1992-es kiadásban jelent meg, Borbás István villamérnök tollából, aki az 1997-es kiadással bezárólag önálló szerzője volt. Az 1998-astól a 2001-es kiadásig már dr. Fábián Tibor okl. villamosmérnökkel együtt dolgoztak a folytatásokon, majd a 2002-es évkönyvtől a 2020-asig Tibor önállóan írta meg a soron következő cikket. A tudomány és a technika fejlődése annyira felgyorsult, hogy az 1999-es folytatástól kezdve már a 10 évvel azelőtt történtekből is szemezgettek a szerzők. Sajnos, mind Borbás István, mind Fábián Tibor idő közben elhunyt. Békei Ferenc főszerkesztőnk biztatására megpróbálkozom a folytatással. Tibor családjának nagylelkű felajánlásaként megkaptam az általa évtizedek során összegyűjtött és a számítógépén tárolt technikatörténeti adatbázisokat, amit ezúton is hálásan köszönök! A hatalmas adattömeg sokat segített a kezdeti lépések megtételében, de azért persze az adatgyűjtés során tanulmányoznom kellett a régi szakkönyveket, újságokat és leginkább az internetet. Kérem, tekintsék szerény művemet egy amatőr, amolyan botcsinálta technika- és tudománytörténész szárnypróbálgatásának!

10 éve történt

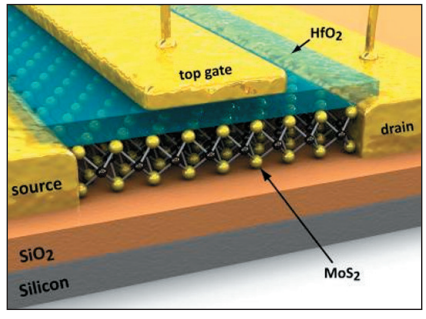
– A 2011. évi fizikai Nobel-díjat – megosztva – *Adam Guy RIESS* (*1969) a Johns Hopkins egyetem professzora, *Saul PERLMUTTER* (*1959), a Lawrence Berkeley Nemzeti Laboratórium munkatársa és *Brian SCHMIDT* (*1967), a Ausztrál Nemzeti Egyetem Mount Stromlo Obszervatóriumának asztrofizikusa kapta meg (**1. ábra**). Perlmutter a díj felét, a másik két kutató a díj 25/25 százalékát érdemelte ki. Mindhárman csillagász-fizikusok. 2006-ban a csillagászati Shaw díjban is részesültek, mindkét esetben a világegyetem gyorsuló tágulására szolgáltatott bizonyítékokért, amiket az ún.

1. ábra. A díjazottak büszkén pózolnak érmükkel. [https://www.csillagaszat.hu/hirek/asztroblog/szupernova-kutatasert-jart-a-fizikai-nobel-dij-2011-ben/]

Ia típusú szupernóvák megfigyelésére alapoztak. A tudományos eredménynek talán köze van a modern fizika egyik legnagyobb rejtélyéhez, a „sötét energiához", de jelentős filozófiai aspektusai is lehetnek.

Ebben az évben különösen sok tudományos felfedezés és műszaki fejlesztés született, amikből itt csak néhány érdekességet áll módunkban röviden megemlíteni, általában a hír, szakcikk megjelentetési dátumával.

– Január 10-én Keck Observatory (Hawaii) jelentette be az első Földszerű exobolygó felfedezését, amelyet a Kepler űrteleszkóp segítségével találtak meg. A bolygó a Kepler-10b nevet kapta. Decemberben ugyanitt újabb exobolygókat fedeztek fel. Például Kepler-22b bolygó körülbelül 2,5-szerese a Föld méretének, és felszíni hőmérséklete kb. 22 Celsius fok, így potenciálisan alkalmas lehet a földi élethez hasonló életformákra. Az exobolygók – azaz a távoli csillagok körül keringő bolygók – léte évszázadokon keresztül csupán feltételezés volt.



2. ábra. A molibdenit-FET struktúrája. [https:/index.hu/tudomany/2011/01/31/molibdenit_lehet_a_szilicium_utodja/]

– Január 30. *KIS András* (Andras Kis; *1975) a Lausanne-i Műszaki Egyetem professzora kutatásai alapján, az igen vékony, kétdimenziós molibdenitből (MoS_2-ből) kisebb és hatékonyabb csipek készülhetnek, mint jelenleg a szilíciumból. A természetben rendkívül elterjedt ásványnak fontos szerepe lehet az elektronikában. Nagyon vékony réteg képezhető belőle, jól használható a nanotechnológiában. A kutató szerint a molibdenit jobb a csipekben jelenleg használt szilíciumnál, és a nagyon ígéretes grafénnél is (**2. ábra**). Az ilyen FET szivárgási árama kikapcsolt állapotban százezred része a szilícium alapúakénak.

– Február 13-án elhunyt a SONY egyik vezető konstruktőre, ikonikus alakja, *NOBUTOSI Kihara* (*1926). Az ott töltött 50 munkás év alatt 700 szabadalmat nyert el. A szakmában elterjedt hiedelemmel ellentétben a Walkmant nem ő találta fel, de a gyártásához szükséges technológiákat ő fejlesztette ki.

– Február 15-én az NBC Jeopardy! című népszerű kvízjátékában az IBM *Watson* szuperszámítógépe két kimagaslóan teljesítő játékost győzött le. A gép nem kapcsolódott a netre, a kérdéseket élőszóban kapta a játékvezetőtől. Igaz, később egy visszavágóban alulmaradt egy szenátorral szemben… A Watson 750 szerverből áll össze, mindegyikben egy-egy 3,5 GHz-es, 8 magos POWER7 processzorral. A RAM 16 TiB-os, az operációs rendszer SUSE Linux Enterprise Server 11 volt.

A játékok során a teljes adatbázist a RAM-ba töltötték fel.

– Február 18. A Yale Egyetemen *A. Douglas STONE* fizikus és csapata megépítette a világ első antilézerét (CPA; Coherent Perfect Absorber), amely a fénynek a lézerhez hasonlóan sokszoros ide-oda tükröződése által képes a bejövő lézersugarat szinte teljes mértékben (99,4 százalékban) elnyelni, azaz energiáját hővé alakítani. Az elméleti érték: 99,999%. A készülék a közeli infravörös tartományában működött, a folyamat egy szilíciumlemezben ment végbe.

– Február 20. A Stanfordi Egyetem kutatói új, nyújtható napelemeket hoztak létre, amelyek energiát adhatnak a mesterséges elektronikus „szuperbőrnek", és képesek felismerni a vegyi anyagokat és biológiai molekulákat. A lehetséges alkalmazások között szerepel a ruházat, a robotika, a végtagprotézisek bevonata és egyebek.

– Március 1. Az Egyesült Királyság kutatói az eddig elért legmagasabb felbontású optikai mikroszkópot demonstrálják, amely mindössze 50 nm méretű tárgyakat képes leképezni. A fehér fényű „mikroszféra nanoszkóp" (amúgy közönséges fénymikroszkóp) lényegét egyszerű anyagokból, például szilícium-dioxidból (SiO_2) vagy polisztirolból készült mikrogömbök képezik, amelyeket a tárgylemezre, a preparátum fölé helyeznek el.

– Március 4-én halt meg *Mihail Petrovics SZIMONOV* (*1929), orosz repülőgéptervező. Először fémépítésű vitorlázógépeket tervezett, sportrepülőgép-építő csoportot alapított. Vezetésével építették meg a Szovjetunió első teljesen fémépítésű teljesítményvitorlázó repülőgépeit. Később a Szuhoj tervezőiroda vezetőhelyetteseként a Szu–24 és a Szu–25 fejlesztésével foglalkozott. 1979-ben a Szovjetúnió repülőgépipari miniszterhelyettese, majd a Szuhoj vállalat vezetője lett. Ő volt az Szu-27 főkonstruktőre.

– Március 11-én, helyi idő szerint 14 óra 46 perckor a Fukusima Daiicsi (Fukusima I) atomerőműben súlyos nukleáris katasztrófa következett be a tóhokui földrengés és az azt követő cunami hatására. A földrengést követő napokban három reaktorblokkban teljes zónaolvadás történt, négy reaktorblokk szerkezetileg károsodott. Az erőműből nagy mennyiségben kijutó radioaktív anyag több tíz kilométeres távolságig szennyezte a környezetet. A balesetet a Nemzetközi Nukleáris Eseményskála (INES) szerinti legsúlyosabb, 7-es fokozatba (nagyon súlyos baleset) sorolták be.

– Március 18-án állt erősen elnyújtott elliptikus pályára a Merkúr körül a Messenger űrszonda. Az eredetileg 2012-ig tervezett misszióját meghosszabbították, így 2013 november 18-án az *Encke* üstököst, a következő napon az *Ison* üstököst is megfigyelte. A hajtóművének üzemanyaga 2015-re elfogyott, a földi irányítás parancsára április 30-án a Merkúrba csapódott.

– Március 26-án meghalt *Harry COOVER* (*1917) vegyész, a cián-akrilát alapú gyorsragasztó feltalálója. A ragasztót a Kodak égisze alatt fedezte fel, szinte „véletlenül". A csodaragasztó 1958-ben jelent meg a kereskedelemben, Kodak Eastman 910, majd Super Glue néven.

– Március 27. A Harvard Egyetem kutatói, *Ludovico CADEMARTIRI* vezetésével készítették el – egy csaknem 200 évvel azelőtti megfigyelésre alapozva – azt a 600 W-os kísérleti eszközt, ami képes elektromossággal befolyásolni a lángok alakját, sőt, elfojtani a tüzet. A módszert sikeresen demonstrálták. A kutatócsoport szerint felfedezésük a tűzoltó berendezések új generációjának képezheti az alapját. Ezzel a módszerrel a tűzoltók biztonságos körülmények között dolgozhatnának, vizet és oltóanyagot spórolhatnának meg, egyben megelőznék a további károkozást.

– Április 13. Magyarország az elsők között tette széleskörűen elérhetővé a Meditronic gyártmányú, MRI-kompatibilis (azaz az MRI erős mágneses mezejét károsodás és működési zavarok nélkül elviselő) pacemakert. A beültetések Semmelweis Egyetem Kardiológiai Központjában történnek.

– A svájci Lausanne-ben *Daniel FAVRE* méhészeti szakember érdekes kísérleteket végzett a (CCD; Colony Collapse Disorder, magyarul: elnéptelenedés) néven ismert jelenség – amikor a dolgozók eltűnnek a kolóniából – megmagyarázására. A méhkaptár mellett mobiltelefonokat helyezett el, és azok különböző üzemmódja esetén vizsgálta a méhek viselkedését. A CCD jelenség világméretű, amiben Favre szerint nagy szerepe van a mobilok keltette elektromágneses mezőnek.

– Április 28. Az Amerikai Fizikai Társaság jelentése szerint a szén-dioxid légkörből történő eltávolítására javasolt technológiák valószínűleg még évtizedekig nem kínálnak gazdaságilag megvalósítható módszert az emberi eredetű éghajlatváltozás lassítására.

– Május 1. A CERN kutatóinak sikerült 309 db antihidrogén-atomot mágneses mezőben csapdába ejteniük, és ott az eddig elérteknél nagyságrendekkel hosszabb ideig, 1000 s-ig megtartaniuk. Ez tovább is sikerült volna, de a tudósokat éppen az antianyagnak az anyaggal való találkozásakor lejátszódó folyamat érdekelte.

– Május 4-én a NASA központjában *Francis EVERITT*, a projekt vezetője ismertette a Gravity Probe B (GP-B) műhold kísérleti eredményeit. A 2004 április 20-án Föld körüli pályára állított szondába az ember által eddig készített legnagyobb geometriai pontosságú gömbök által megtestesített 4 db szuperprecíz giroszkópot építették be. A mérési adatokból 10^{-4} bizonytalansággal sikerült igazolni Einsteinnek a téridő gravitáció hatására történő görbüléséről szóló elméletét, ami ez esetben a Föld tömegvonzására lép fel.

– Az Intel bemutatta a következő generációs mikroprocesszoros technológiát, *Ivy Bridge* kódnévvel. Ez szerint elsőként vezetik be a 22 nm-es vonalszélességet, amely felváltja a 32 nm-est. (E cikk összeállításakor már 10 nm-nél tartanak, de folyamatban van a 7 nm-es gyártás előkészítése.)

– Május 25. *Antonino CUCCHIARA*, a vizsgálat vezetője szerint az univerzum eddig ismert legtávolabbi önálló objektuma okozhatta a 2009 áprilisában megfigyelt robbanást – és az általa okozott gamma-kitörést –, amit GRB 090429B-re kereszteltek. A felrobbant csillag tömege a Napénak mintegy 30-szorosa lehetett. A NASA Swift űrobszervatóriumával észlelt robbanás „mindössze" 520 millió évvel a Nagy Bumm után következett be.

– Június 1. A két új, a 114-es és a 116-os rendszámú transzurán kémiai elemet hivatalosan felveszik a periódusos rendszerbe. A 114-es rendszámú elem az Ununquadium (Uuq). Nemhivatalosan 1999 januárjában jelentették be a dubnai Egyesített Atomkutató Intézetben. A 116-os neve: Livermorium (Uuh, újabban Lv). Mindkettő mesterségesen előállított, szuper-radioaktív elem, jelenleg ezek a legnehezebbek.

– Június 12-én történt meg a csak a világűrből megfigyelhető afrikai Nabro-vulkán első ismert újkori kitörése. Az Eritrea és Etiópia határán, egy szakadék mélyén fekvő vulkán a

3. ábra. Az Atlantis űrrepülőgép a start előtt. [https://hu.wikipedia.org/wiki/Atlantis_%C5%B1rrep%C3%BCl%C5%91g%C3%A9p]

műholdak által valaha megfigyelt legnagyobb mennyiségű kén-dioxidot bocsátotta ki. A vulkán kitörési oszlopa elérte a 14 000 m-es magasságot.

– Június 14. Egy tanulmány kimutatja, hogy a globális emberi tevékenység átlagosan három-öt nap alatt produkál akkora mennyiségű szén-dioxidot, amelyet a vulkánok évente világszerte termelnek.

– Június 20 A japán Fujitsu által kifejlesztett *K* nevű számítógép első helyen áll az 500 legnagyobb szuperszámítógép listáján, hat hónap elteltével véget vetve Kína elsőségének. 8,16 petaflops sebességgel képes működni (másodpercenként négymilliárd lebegőpontos számítás), ezzel nagyobb teljesítményű, mint a sorban következő öt rendszer együttesen.

– Június 23. A sejtek organizmussá válása folyamatának jobb megértése érdekében *William RATCLIFF* és munkatársai a Minnesotai Egyetemen arra törekedtek, hogy többsejtűséget fejlesszenek ki egy egysejtű laboratóriumi szervezetben, a sörélesztőben. Megfigyelték, hogy az egysejtű élesztő többsejtes organizmussá alakul, a sejtek közötti munkamegosztással. Ez azt sugallja, hogy a többsejtűség felé vezető evolúciós ugrás meglepően kis akadályt jelenthetett.

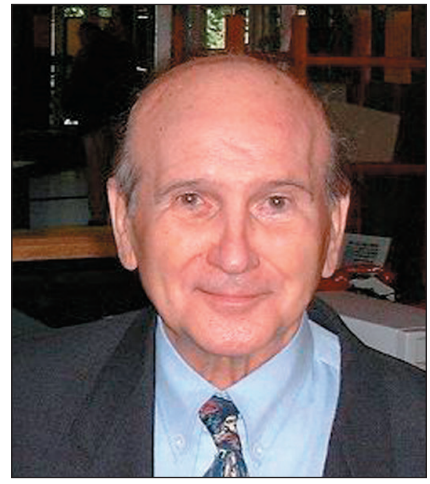
– Június 25. A Stanford kutatói kifejlesztettek egy olyan mikrofont, amelyet az óceán bármilyen mélységében fel lehet használni, a legnagyobb hidrosztatikus nyomású környezetben is. A dinamikatartománya rendkívül nagy: a könyvtári suttogástól a TNT robbanásáig mintegy 160 dB. A frekvenciaterjedelme mintegy 17 oktáv. A konstrukció minden tekintetben jobb a hidrofonokénál, így jól használható pl. szonárokhoz v. víz alatti kommunikációs vételre.

– Július 8-án indult utolsó küldetésére (STS-135) az *Atlantis* űrsikló (**3. ábra**). A küldetés július 21-én, a Kennedy Űrközpontba való szabályos visszatéréssel ért véget. Az űrjármű összesen 33 küldetést teljesített, miközben 4848-szor kerülte meg a Földet, 14 mesterséges égitestet helyezett pályára, 19-szer kapcsolódott össze űrállomásokkal, és a fedélzetén 191 űrhajós teljesített szolgálatot.

– Július 12. A *Neptunusz*, naprendszerünknek a Naptól legtávolabb keringő bolygója (mióta 2006-ban az addigi 9. bolygót, a Plutót törpebolygóvá minősítették) bevégezte első Nap körüli keringését, 1846-os felfedezése óta. A bolygó ui. 164,79 év alatt tesz meg egy fordulatot, nagyon jó közelítéssel körpályán.

– Július 19. Az addig épített legnagyobb orbitális űrteleszkóp, az orsz RadioAstron pályára áll. A 3660 kg induló tömegű mesterséges égitest 10 m átmérőjű teleszkópot hordoz.

– Július 20. A Hubble Űrtávcső felfedez egy újabb Plutó körül keringő holdat, amelyet egy június 28-án készült felvételen azonosítottak. 2012-ben még egy addig ismeretlen Plútó-hold került lencsevégre. 2013-ban a két új égitestet *Kerberos*nak és *Styx*nek nevezték el.

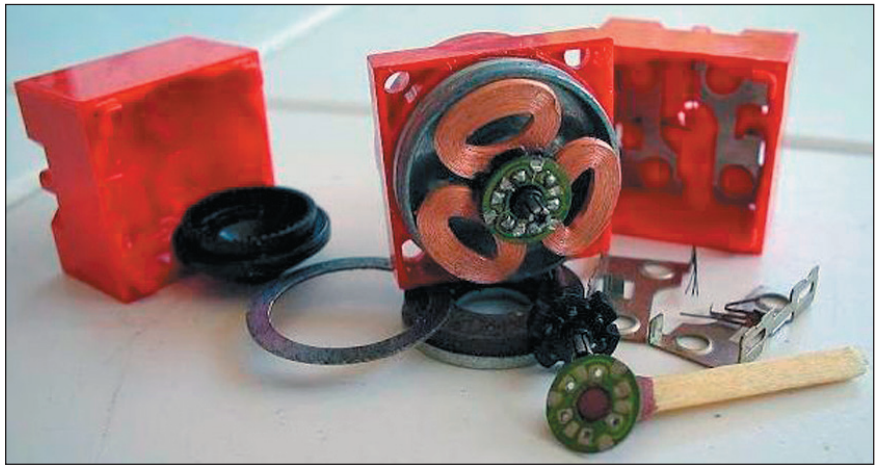


4. ábra. Jánosi Marcell. [http://kockageneracio.blogspot.com/2013/01/magyar-feltalalo-kis-legomotorja.html]

– A világ legerősebb „osztott mágnese” épült meg a Floridai Állami Egyetemen. A két részből álló, nagyon erős búrában elhelyezett vízhűtésű elektromágnes 25 T mágneses indukciót képes a sarui között gerjeszteni. (Ez a Föld mágneses mezejének 500 000-szerese.) A hűtéséhez percenként közel 9,5 m^3 víz szükséges. A saruk között a burkolaton 4 db 60 × 150 mm-es ablak van a próbatestek megfigyelésére, ill. a lézeres kísérletekhez. A szupermágnes-projekt 2,5 millió dollárba került.

– Júliusban meghalt *JÁNOSI Marcell* (*1931) gépészmérnök-közgazdász, feltaláló, többek között a Calypso magnetofon egyik konstruktőre (**4. ábra**). Világraszóló találmánya az 1974-ben megalkotott 3”-os flopilemez és a hozzá való meghajtó (kazettás le-

5. ábra. Az MCD-1 meghajtó az újszerű, tokozott flopival. [http://www.karpatalja.ma/sorozatok/magyar-feltalalok/magyar-feltalalok-janosi-marcell-es-a-floppy-lemez/]



6. ábra Jánosi LEGO-minimotorja. [http://kockageneracio.blogspot.com/2013/01/magyar-feltalalo-kis-legomotorja.html]

mez, vagy ahogy akkoriban nevezte: hajlékony merevlemez; erre szabadalmat kért) (**5. ábra**). 1975-ben Állami Díjat kapott. Ezen az elven később világszerte gyártották a mikroflopit, 3,5”-os szabványosított átmérővel. A feltalálót felkérte a LEGO cég egy miniatűr, a szabványos LEGO-kockába beépíthető DC motor megtervezésére. A kockacukor-méretű kommutátoros tárcsamotor prototípusa (**6 ábra**) elkészült, a további sorsát nem ismerem.

– Augusztus 5-én startolt a Kennedy Űrközpontból az az Atlas V rakéta, amely Juno Jupiter-szondát szállította 5 éves küldetésére. A hatékony napelemekkel felszerelt szonda 2016-ban állt bolygó körüli pályára.

– Augusztus 19. Az Egyesült Államok Haditengerészeti Kutatóhivatala kijelentette, hogy sikeresen tesztelt egy új típusú robbanóanyagot, amely drámai módon növeli a fegyverek hatásait. A nagy sűrűségű anyagból készült töltetek a ma használatos robbanóanyagok rombolóhatásának akár ötszörösére is képesek.

– Augusztus 29. Japán tudósok bejelentették a szélturbina technológiájának innovációját, a *széllencsét*, amely megháromszorozhatja a szélturbinák energiateljesítményét, és ezáltal a szélenergia olcsóbbá válhat, mint az atomenergia.

– Augusztus 31. A folyékony nitrogén és a folyékony hélium hűtőfolyadéknak köszönhetően az AMD megdöntötte a mikroprocesszorok sebességrekordját. A gyártó a gyártás alatt álló, nyolcmagos AMD FX 8150 Bulldozer processzornál 8,429 GHz-es órajel- frekvenciát ért el.

– Szeptember 14-én meghalt *Rudolf MÖSBAUER* (*1929) Nobel-díjas német kísérleti fizikus és kiváló egyetemi tanár, a gammasugarakkal kapcsolatos Mösbauer-effektus felfedezője. A Nobel-díjat 1961-ben kapta meg, gammasugarak rezonancia-abszorpciójának területén végzett kutatásaiért. (Megosztva, *Robert HOFSTADTLER*-rel)

– Szeptember 29-én egy 2F-T1 Hosszú Menetelés rakétával állították Föld körüli pályára a kínai Tiangong-1 kísérleti űrállomást, amihez aztán időnként személyzetet szállító űrhajók csatlakoztak. Az űrállomás belső térfogata 15 m^3 volt, és 3 űrhajós ellátását volt képes biztosítani. 2016-ban a rendszer irányíthatatlanná vált, végül 2018-ban nagyrészt elégett a légkörben, néhány ronccsá vált darabja pedig az óceánba zuhant.

– Október 3. Munkába állt a chilei Atacama milliméteres, ill. szubmilliméteres rádiótávcső-rendszer, amely 66 db paraboloid antennaegységből áll. Ez a legnagyobb és legbonyolultabb rádióteleszkóp-rendszer, amelyet valaha építettek.

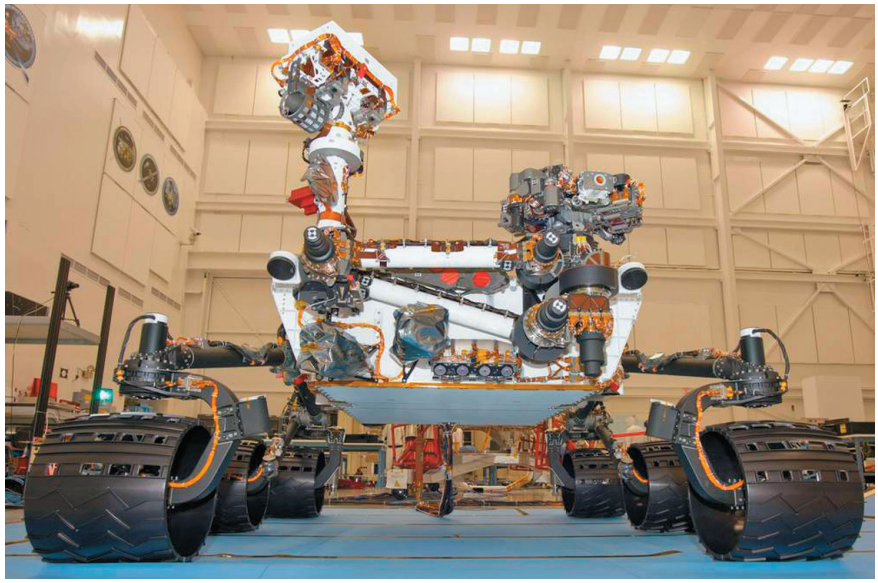
– Október 7. Az ESA Venus Express szondájából származó adatok azt mutatják, hogy a Vénusz bolygó felső atmoszférájában ózonréteg van.

– Október 19. Az ARM brit mikroprocesszor- és mikrokontroller architektúra-tervező bemutatta a Cortex A7 processzort, amellyel olcsóbb és hatékonyabb okostelefonok készíthetők.

– Október 21-én helyezte Föld körüli pályára a Galileo műholdas navigációs rendszer első két műholdját az Európai Űrügynökség, Szojuz rakétával, Kourouból, két tesztműhold korábbi, bajkonuri felbocsátása után. A világ legpontosabb műholdas navigációjaként aposztrofált Galileo rendszer célja, hogy csökkentse Európa függőségét a domináns Amerikai GPS rendszertől. Teljes kiépítésben 30 Galilei műhold kering a Föld körül, középmagas pályákon.

– Október 26. Az Egyesült Államok B53 típusú atomfegyvereinek (**7. ábra**) utolsó darabjait is szétszerelték Amarillo közelében, Texasban. A kilenc megatonnás bombák, amelyeket elsőként állítottak hadrendbe 1962-ben, korábban az ország nukleáris arzenáljának leghatékonyabb nukleáris fegyverei voltak.

7. ábra. Egy B53 atombomba mozgatása. [https://en.wikipedia.org/wiki/B53_nuclear_bomb#/media/File:B53_at_Pantex.jpg]



8. ábra. Curiosity a szerelőcsarnokban. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Curiosity_Mars_Science_Laboratory_Rover.jpg]

– A Boeing 787 Dreamliner, az első nagyobb, kéthajtóműves repülőgép, amely jelentős mértékben kompozit anyagokból épül fel, így 20%-kal kevesebb üzemanyagot fogyaszt, mint a Boeing 767, befejezi első kereskedelmi repülését.

– November 2-án Kína pilóta nélküli Shenzhou 8 űrhajója automatikusan hozzákapcsolódik a keringő Tiangong-1 űrállomáshoz. Az űrkabin november 17-én tért vissza a Földre.

– A Fehér Ház hivatalos jelentése szerint „…az Egyesült Államok kormányának nincs bizonyítéka arra, hogy bármilyen élet létezik a bolygónkon kívül, vagy hogy egy földönkívüli jelenlét kapcsolatba lépett az emberi faj bármely tagjával vagy felvette azt.” Azt állítja továbbá, hogy „…nincs olyan megbízható információ, amely arra utalna, hogy bármilyen bizonyítékot elrejtenek a nyilvánosság előtt”.

– Oroszország elindítja a Fobos-Grunt szondát, ami az ország 1996 óta történt első bolygóközi missziós kísérlete. A misszió célja mintavétel a Phobos (a Mars nagyobbik holdja) felületéről és 2014-ben a Földre való visszatérése. A kínai Yinghuo-1, Kína első Mars-szondája szintén elindul. Annak ellenére, hogy sikeresen Föld körüli pályára álltak, egyik sem képes megkezdeni a Mars felé tartó útját, mivel a második fokozatuk hajtóműve nem indult be.

– November 4-én elhunyt *Norman Foster RAMSEY* (*1915) atomfizikus. Mérnöknek tanult, majd matematikából és fizikából szerzett diplomát. Dolgozott a Cavendish laboratóriumban, a Carnegie intézetben, a MIT-ben és Oppenheimer felkérésére a Manhattan-tervben is. 1947-ben a Harvard fizikaprofesszora lett. Része volt az MRI készülék kifejlesztésében. A Nobel-díjat 1989-ben kapta meg a szeparált oszcilláló mezők módszerének kidolgozásáért, valamint annak a hidrogénmézernél és más atomóráknál való alkalmazásáért (megosztva *Wolfgang PAUL*-lal és *Hans Georg DEHMELT*-tel).

– November 10. Az ARM brit tervezőiroda bemutatta legújabb grafikus processzorát (GPU) a mobil eszközök számára. A Mali-T658 az elődjének tízszeres teljesítményét kínálja.

– November 15. Egy új tanulmány szerint világszerte a felnőttek 95%-a rendelkezik mobiltelefonnal.

– November 16. Az Intel bemutatta az egy teraflop sebességgel futó Knights Cornernek nevezett CPU-t, amely 64 db x64 típusú processzormagot egyesít egyetlen csipen. A csip már 22 nm-es csíkszélességgel készült.

– November 26-án a NASA sikeresen elindítja a Mars Science Laboratory misszióját, amely 2012-ben leszállította a Curiosity Mars Rovert (**8. ábra**) a bolygó felszínére.

– December 14. A MIT kutatói olyan képalkotó rendszert fejlesztettek ki, amely képes másodpercenként egy billió képkockát rögzíteni.

– December 22-án Kína a 18. sikeres pályára állítást végzi 2011-ben. Ez az első olyan év, amikor több kínai, mint amerikai űreszközt bocsátottak fel.

– December 27-én Kína aktiválja a Compass műholdas navigációs rendszerét.

– Kína egy olyan saját fejlesztésű nagysebességű vonat prototípusát mutatja be, amely képes meghaladni az 500 km/h sebességet is.

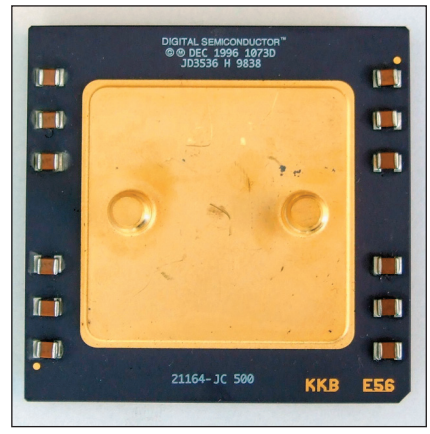
25 éve történt

– 1996-ban a fizikai Nobel-díjat – megosztva – *David M. LEE*, *Douglas D. OSHEROFF* és *Robert C. RICHARDSON* nyerte el, 3He hélium-izotóp szuperfolyadék-fázissá alakulásának felfedezéséért, az abszolút nulla fokot megközelítő hőmérsékleten.

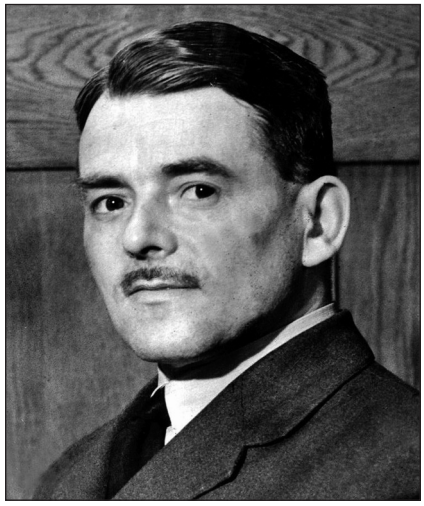
– Január 12-én elhunyt *Bartel Leendert van der WAERDEN* holland matematikus (*1903). Götingenben tanult matematikát, és ott is doktorált. Legnagyobb alkotása az 1930-ban kiadott *Algebra* című kétkötetes könyve, mely az absztrakt algebra alapművének számított.

– Március 26-án meghalt *David PACKARD* (*1912), villamosmérnök, aki *Bill HEWLETT*-tel megalapította a Hewlett-Packard, később nagynevű műszergyártó vállalatot. (Ma számítógépeket és perifériákat gyárt.)

– Március 29-én budapesti, körzeti kereskedelmi adóként kezdte meg műsorszórását a *Rádió 1* CCIR-sávú magyarországi rádióhálózat, amely Európa és Amerika aktuális slágereit sugározta. A következő években építette ki első hálózatát, de 2012-ben elvesztette budapesti frekvenciáját, így két megyében volt csak hallható. 2016-ban indult újra.



9. ábra. A DEC Alpha 21164 mikroprocesszor. [https://hu.wikipedia.org/wiki/Alpha_21164#/media/F%C3%A1jl:DEC_Alpha_21164.jpg]

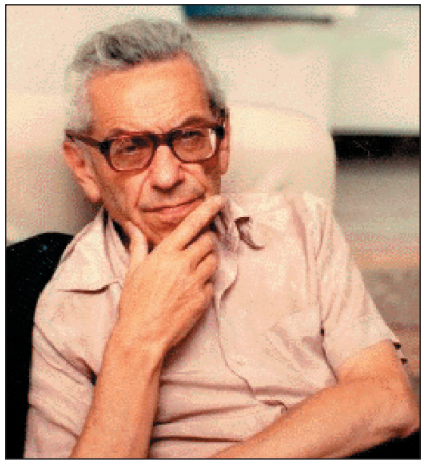


10. ábra. sir Frank Whittle. [https://www.coventrytelegraph.net/news/coventry-news/gallery/frank-whittle-remembered-9824558]

– Július 8. A Digital Equipment Corporation (DEC) bejelentette az akkori leggyorsabb kereskedelmi mikroprocesszort, az Alpha 21164-et (EV5; **9. ábra**). A 350 nm-es csíkszélességű technológiával készült processzor 64 bites, RISC architektúrájú volt, 433 MHz-es órafrekvenciával.

– Augusztus 9-én meghalt *Sir Frank WHITTLE* (*1907) mérnök, pilóta (**10. ábra**), aki a német *Hans von OHAIN-tól* függetlenül feltalálta a kompresszoros feltöltésű gázturbinás sugárhajtóművet. Találmányára 1930-ban kapott szabadalmat.

– Augusztus 12-én elhunyt *Viktor HAMBARCUMJÁN* örmény, szovjet elméleti csillagász, asztrofizikus (*1908). A Leningrádi egyetemen megalapította az asztrofizikai tanszéket. Kidolgozta a planetáris ködök, szupernóvák körüli ködök sugárzási elméletét. Foglalkozott a kettőscsillagok és csillaghalmazok dinamikai problémáival, a csillagkeletkezés elméletével, extragalaxisok fejlődésével, földönkívüli civilizációk kutatásával, de legfőbb eredménye a szupersűrű presztelláris (csillagok előtti) anyag létének megállapítása volt. Róla nevezték el az 1905-ös számú kisbolygót.



11. ábra. Erdős Pál. [https://erdosiskola.mik.uni-pannon.hu/index.php/altalanos-informaciok/erdos-pal-eletrajz.html]

– Szeptember 20-án meghalt *Erdős PÁL* matematikus, az MTA tagja (*1913) (**11. ábra**). Érdeklődési köre a számelmélet, geometria, interpolációelmélet, polinomok, kombinatorika, sorelmélet, gráfelmélet, valószínűségszámítás, csoportelmélet, geometria; általában a diszkrét matematika volt. Sok matematikussal dolgozott együtt, számos tételt bizonyított, és maga is számos matematikai sejtést tett közzé.

– Október 11-én elhunyt *Lars AHLFORS* (*1907) finn matematikus, egyetemi tanár. Elsősorban Riemann-felületekkel foglalkozott. Több híressé vált tankönyvet írt; klasszikus műve a *Complex Analysis* (Komplex függvénytan, 1953.).

– Szeptember 26-án tér vissza az űrből *dr. Shannon LUCID* (*1943) amerikai űrhajósnő, biokémikus (**12. ábra**). Ő az első nő, aki az űrhajósképzés megkezdésekor már anya volt! Az 5. űrmisszió során, a MIR szovjet űrállomáson eltöltött 179 nap leteltével az Atlantis űrrepülőgépen további 9 napot repült. Így a 188 napjával beállította a női űrhajósok folyamatos űrbeli tartózkodásának rekordját.

– November 7-én indult közel egy évtizedes útjára a Mars Global Surveyor űrszonda, amelynek egyik feladata volt, hogy tisztázza a „marsi arc" mibenlétét. Ezért az elődöknél sokkal jobb felbontással lefényképezték a képződményt és annak környezetét. A felvételek a szkeptikusokat igazolták: egy teljesen hétköznapi marsi kőhalmot láthatunk a felvételeken. Persze, az égen vonuló felhőkben is sokszor fel lehet ismerni különösen jó ábrázolásokat…

– *Michael ROWAN-ROBINSON* (*1942) és kollégái az ESA Infravörös Űrobszervatóriumának (ISO) segítségével felfedezték az infravörös többletsugárzást. Ebből arra következtettek, hogy az újonnan kialakuló csillagok fényét, talán a nehézfémek előállításának szakaszában, a porrészecskék abszorbeálják, és IR-sugárzásként emittálják.

12. ábra. Shannon Lucid. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/ShannonLucid.jpeg]

Az 1985-ben felfedezett, addig 4599 nevű aszteroidát a tiszteletére *Rowan*-nak nevezték át.

– Az év két híres, a tehetősebbek körében nálunk is kedvelt mobiltelefonja volt a Motorola StarTAC (az első összecsukható típus), ill. a 400 g-os (!), szintén összecsukható Nokia Communicator. Utóbbi megelőzte a korát, hiszen lényegében okostelefon volt!

– Az Országgyűlés, évekig tartó alkotmányos mulasztás után, az 1995/96. év fordulóján alkotta meg az 1996. évi I. törvényt a rádiózásról és televíziózásról. A törvény szól a műsorszolgáltatás tartalmi alapelveiről és a kiskorú hallgatók/nézők védelméről. [https://mkogy.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600001.TV]

– *Sergey BRIN* (*1973) matematikus-közgazdász és *Larry PAGE* (*1973) informatikus mérnök fejleszteni kezdi a szabadalmaztatott PageRank szoftvertechnológián alapuló, általuk *Google*-nek nevezett keresőmotort, amivel 1998-ban léptek ki a netre.

50 éve történt

– A fizikai Nobel-díjat 1971-ben *GÁBOR Dénes* (vagy Dennis Gabor; 1900 – 1979; **13. ábra**) fizikus, gépészmérnök, villamosmérnök kapta, a holográfia módszerének kifejlesztéséért.

– Április 12-én meghal *Igor Jevgenyjevics TAMM* orosz-szovjet elméleti fizikus (*1895). Feltételezte, hogy a neutronnak belső szerkezete van, jóval a kvarkok felfedezése előtt.

A mezonelméletet is előkészítette. Közelítő módszert dolgozott ki a soktest-problémára, részt vett a szovjet hidrogénbomba megalkotásában, vázolta a Tokamak-rendszert, mint a fúziós kísérletek célszerű eszközét. 1958-ban *Pavel Alekszejevics CSERENKOV*-val és *Ilja Mihajlovics FRANK*-kal elnyerte a fizikai Nobel-díjat a Cserenkov-Vavilov-hatás felfedezéséért és értelmezéséért.

– Május 9-én startol Floridából a Mariner-8 űrszondát szállító Atlas-Centaur rakéta, de a 2. fokozat meghibásodása miatt a küldetése félbe szakadt, a Marsot nem érte el. Ugyanabban az indítási ablakban, május 30-án elindítják az azonos felépítésű Mariner–9-et. November 14-én eléri a Marsot, és mesterséges holdjává válik. Az űrtechnika történetében ez az első eset, hogy egy űreszköz egy másik bolygó körül keringjen! Fő feladata a Mars felszínének térképezése, amit a 4 színben fényképező kamerával teljesített, a felszín 70%-át lefotózva, összesen 7329 képet küldve a Földre. Ezek alapján megállapítható például, hogy nincsenek „csatornák”, és hogy az évszakos eltéréseket a szélfúvott por alternatív lerakódása és elmozdulása okozta.

– Június 30. A Szojuz-11 űrhajó kabinja a Földre való visszatérés közben még a sztratoszférában elveszítette hermetikusságát, mert a nyomáskiegyenlítő szelepe idő előtt nyitott és a kabin levegője kiszökött. A benne helyet foglaló három űrhajós – *Georgij Tyimofejevics DOBROVOLSZKIJ* (*1928), *Vlagyiszlav Nyikolajevics VOLKOV* (*1935) és *Viktor Ivanovics PACAJEV* (*1933) az életét vesztette. Attól kezdve a Szojuzok utasainak a fel- és leszállás során kötelező a könnyű szkafander viselete.

– Július 1-jén elhunyt *William Lawrence BRAGG* angol fizikus (*1890), aki az édesapjával – szintén fizikus volt – röntgenkrisztallográfiás vizsgálatokat végzett, melyek kapcsán kidolgozta a Bragg-törvényt. Ezen kutatások eredményeire tekintettel 1915-ben mindketten megkapták a fizikai Nobel-díjat. 2014-ig ő volt a legfiatalabb Nobel-díjas.

– Augusztus 9-én születik *Roman ROMANYENKO* orosz-szovjet mérnök, űrhajós. Több mint 800 órát repült pilótaként. Az űrhajós-kiképzése részben az orosz űrügynökségnél, részben az USA-ban történt. Két küldetése során összesen 333 napot töltött az űrben.

– Augusztus 28-án a a MALÉV 731-es járata, a HA-MOC lajstromjelű IL-18 -as, Dánia partjainál, leszállásra készülve, alig 10 km-re a Oslo–Gardermoeni repülőtér futópályájától, hirtelen a tengerbe zuhant. A tragédiát a 25 utasból és a 9 fős személyzetből mindössze ketten élték túl. Később megállapították a szakértők, hogy a baleset oka egy különleges és ritka légköri jelenség, az ún. microbust (légzuhatag) volt, amit 1971-ben még nem ismertek. A tényfeltárást megnehezítette, hogy a gépnek – az előírásokkal ellentétben – nem volt „fekete doboza”.

– *Alan KAY* és *Jeff RULIFSON*, egy korai objektum-orientált programozási nyelv megalkotása során azon gondolkodtak, hogy miként lehet a képernyő zsúfoltságát megszüntetni. Rájöttek, hogy megoldást jelent, ha az egyes információblokkok külön-külön, de egymást átfedő „ablakokban” jelenjenek meg.

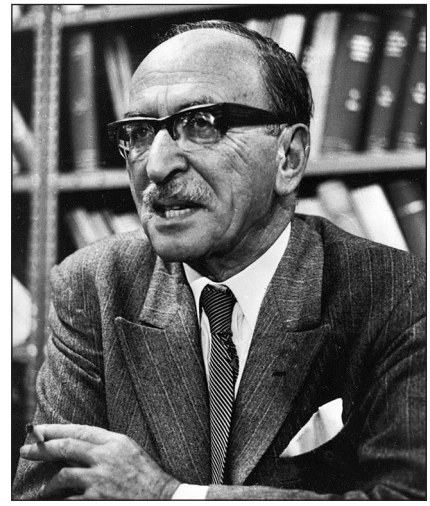
– *Dov FROHMAN*, az Intel munkatársa 1971-ben találta fel az EPROM-ot. A lebegő kapus MOSFET-eken alapuló nem felejtő, de újraírható társtruktúrára 1972-ben megkapta a szabadalmat. Frohman megtervezte a 2048 bites Intel 1702 EPROM-ot (**14.a ábra**, amelyet a vállalat 1971-ben már forgalmazott.

– Ugyancsak az Intelnél egy asztali számológép megtervezése során jutottak el a konstruktőrök: *Federico FAGGIN* és *Ted HOFF* az Intel mérnökei és *Sima MASHATOSI* a japán Busicom cég (a megrendelő) mérnöke az univerzális programozható vezérlőcsip gondolatához. Megszületett a 4004 típusú 4 bites, NMOS struktúrájú, 2250 db tranzisztort tartalmazó, 14 lábú, multiplexelt be-/kimenetű *mikroprocesszor* (**14.b ábra**). A CPU-hoz kiegészítő tokokat (ROM, RAM, léptetőregiszter stb.) is kínált az Intel, 400x típusjelzéssel.

– *Gary STARKWEATHER* a Xerox cég mérnöke készítette az első lézernyomtatót, egy fénymásoló átalakításával. Az első boltban kapható típust, a 3800-ast viszont az IBM gyártotta, és 1976-tól forgalmazták. Az első számítógéphez illeszthető gyártmány a Xerox Star 8010 volt (1977).

75 éve történt

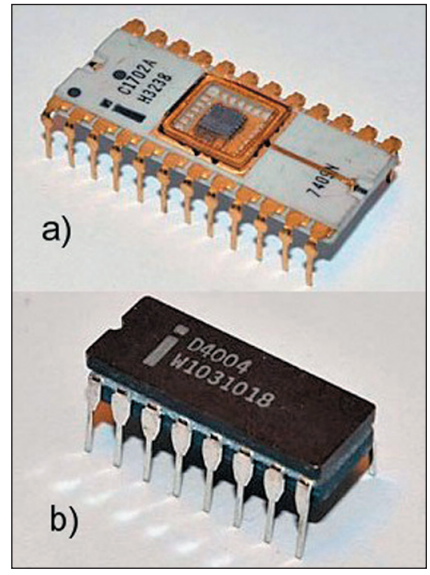
– 1946-ban a fizikai Nobel-díjat *Percy Williams BRIDGMAN* (1882 – 1961) amerikai kísérleti fizikusnak ítélték oda



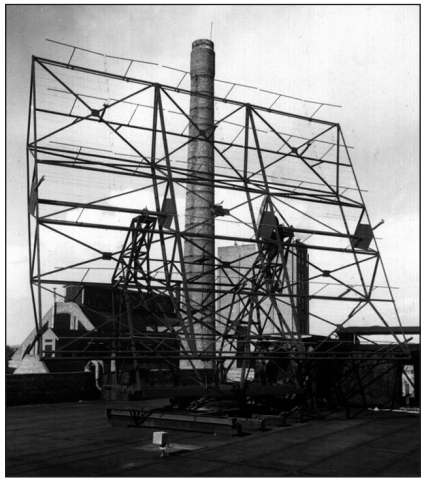
13. ábra. Gábor Dénes. [https://www.wikiwand.com/hu/G%C3%A1bor_D%C3%A9nes_(fizikus)]

„egy rendkívül nagy nyomás előállítására alkalmas berendezés feltalálásáért, és az azzal a nagynyomású fizika területén elért felfedezéseiért”.

– Január 10-én, 11:58-kor az USA Hadseregének Híradástechnika törzse Diana projektje keretében *John H. DeWITT* és *E. King STODOLA* észlelte először a Holdra „lőtt” 111,5 MHz-es rádiójelekből álló, 0,25 s-os impulzusok visszaérkezését. Az adó eredetileg egy SCR-271 radaré volt, 50 kW-osra bővítve. A 24 dB nyereségű antenna 8 × 8 db, reflektorral felszerelt félhullámú dipólból állt, és vízszintesen sugár-



14. ábra. Egy 1702A típusú EPROM és a 4004 típusú mikroprocesszor. [https://www.nzeldes.com/HOC/IntelFirsts.htm]



15. ábra. A holdradar-kísérlet forgatható/dönthető antennarendszere az Egyesült Izzó fő épületének tetején. [https://haditechnikaiintezet.hu/prokob-tibor-buza-tibor-fold-hold-tavolsag-megmerese]

zott (csak azimutálisan volt állítható, azaz függőleges tengely körül volt elforgatható a magas rácsos állvány tetején). Ezért csak egy mintegy 40 min-es időablak állt rendelkezésre a kísérletekhez.

– Január 26-án végezte az első rádió-interferometrikus mérést csillagászati célból *Joseph Lade PAWSEY* (1908 – 1962), *Ruby PAYNE-SCOTT* (1912 – 1981) és *Lindsay McCREADY* egy átalakított háborús radarantennával Sydney mellett, 200 MHz-en. Júliusban *Martin RYLE* (1918 1984) és *Derek D. VONBERG* 175 MHz-en figyelte meg a Napot egy Michelson-jellegű rádió-interferométerrel, amely két, egymástól 240 m-re telepített rádióantennából állt. Megállapították, hogy egy I-típusú napkitöréskor a sugárzási szög kisebb volt, mint 10 szögperc és körpolarizációjú. Ugyanabban az időben egy ausztrál és egy angol kutatócsoport is észlelt körpolarizációjú sugárzást.

– Február 6-án hajtotta végre *Bay ZOLTÁN* (1900 – 1992) kísérleti fizikus és kutatócsoportja az első sikeres európai holdradar-kísérletet, a Tungsram felszabadítóink által kirabolt, árvízkárral sújtott újpesti telephelyén. Az alkalmazott frekvencia 120 MHz volt. Vételre egy URH/RH konverterrel kiegészített R/7 katonai vevőt használtak. Mivel 36 dipólból álló antennarendszert (**15. ábra**) építettek ugyan, de sokkal kisebb teljesítményű adóberendezésük volt, mint az amerikai kísérletezőknek, Bay zseniális módszert dolgozott ki a visszavert jeleknek az azoknál nagyobb zajból történő kiszűrésére. A módszer ezernyi visszaverődött impulzus összegzéséből, és egy különleges „hisztogramkijelzőn", a 10 csöves hidrogén-coulométeren (gyakorlatilag kálium-hidroxid oldatos vízbontósoron) alapult. A zajban elvesző jel detektálásának ezen elvét máig alkalmazzák, persze szoftveres formában. A rádiómatőrök egy része számára a holdreflexiós összeköttetés ma már napi rutinnak számít.

– Február 24-én született *Grigorij MARGULIS* orosz-amerikai matematikus, a matematikai tudomány kandidátusa. Bebizonyította a Zelberg–Pjatyeckij–Sapiro-sejtést, Oppenheim 1929-es sejtését, Banach sejtését, explicit megoldást adott korlátos fokú expander gráfokra.

– Februárban jelent meg a *Rádióvilág* c. rádióamatőr szaklap 1-2. összevont, szerény terjedelmű száma, *MAKAI István* szerkesztésében és kiadásában. A lap nem titkolt célja a háború során betiltott Rádió Technika helyettesítése. Nem sokáig kellett helyettesíteni, hiszen 1947 májusában újraindult. Mindkét lap az 1948. augusztusi számmal szűnt meg, pontosabban az egyesülésükből megszületett a *Rádió és film Technika*. Egy jellegzetes korabeli kapcsolási rajzot idézünk ide a Rádióvilág 1-2. számból (**16. ábra**)

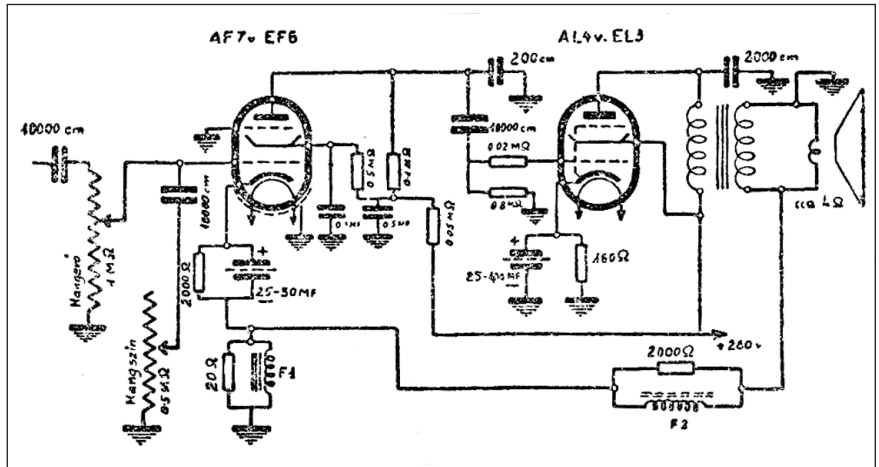
– Szeptember 16-án hunyt el *James JEANS* (*1877) angol fizikus, csillagász.

Edward Arthur MILNE-nel közösen kimutatta, hogy a Holdnak nem lehet légköre, elméletet publikált a Naprendszer keletkezéséről (ez később tévesnek bizonyult), jelentős eredményeket ért el a csillagok belső szerkezete és az egyensúlyi alakzatok vizsgálata terén, lord *RAYLEIGH*-vel közösen levezették a feketetest-sugárzás kis frekvenciájú tartományában érvényes Rayleigh–Jeans-törvényt.

– December 11-én *Frederick WILLIAMS* (1911 – 1977) mérnök szabadalmat nyert egy vákuumcsöves tetszőleges hozzáférésű memóriára. Ennek alapja egy katódsugárcső, amelynek foszforeszkáló ernyőjére az elektronsugár pontokat és vonásokat (a **0** és az **1** bináris érték megfelelőit) rajzolta fel. A RAM-ot olyan elektroncsöves számítógépekbe építették be, mint pl. az IBM 701.

– *John William MAUCHLY* (1907 – 1980) fizikus és *John Adam Presper ECKERT* (1919 – 1995) villamosmérnök megalkották az ENIAC-ot, a sokáig elsőnek hitt általános célú elektroncsöves számítógépet. (Pár éve derült fény a szigorúan titkos angol COLOSSUS projektre, amelyben a háború idején kódfejtésre használták a *Turingék* által konstruált csöves gépet.) Megalapították az első számítógépes céget, az Eckert – Mauchly Computer Corporation (EMCC) társaságot. Itt készült az immár Neumann-elven alapuló EDVAC, BINAC és az USA-ban kereskedelemi forgalomba került első számítógép, az UNIVAC. Itt íródtak a gépek tárolt programjai, az alprogramok és a programozási nyelvek is.

– *Lev Davidovics LANDAU* (1908 – 1968) szovjet elméleti fizikus megjósolta az ütközésmentes plazmában



2. ábra. Kétpentódás erősítőkapcsolás hangkorrekcióval. F_1 tekercs a mély, F_2 a magas hangok kiemelésére szolgál

16. ábra. Egyszerű HF-erősítő kapcsolási rajza a Rádióvilág 1-2. számából

– amikor egy hullám sebessége összehasonlítható az elektronok sebességével – fellépő disszipációt. Ez az ún. Landau-csillapodás.

– *Robert Henry DICKE* (1916 – 1997) fizikus a rádióteleszkópos vevők zajának csökkentésére kommutációs módszert javasolt. A súlyos és a tehetetlen tömeg ekvivalanciájára először *Eötvös Loránd* szolgáltatott kísérleti bizonyítékot, speciális, kettős torziós ingájával, amivel elnyerte Einstein elismerését. Dicke a '60-as években ezt már 1000-szer pontosabb mérésekkel igazolta.

– *Willard Frank LIBBY* (1908 – 1980) kémikus elkészítette az első atomórát, amely 300 000 év alatt tévedhet egy másodpercet. A C14 izotóppal kapcsolatos vizsgálatai alapozták meg a radiokarbon-kormeghatározást.

– George GAMOW (1904 – 1968) orosz-amerikai atomfizikus megállapította, hogy az elemek relatív mennyiségét az egyensúlytalan nukleoszintézis (a hidrogén héliummá válása a magfúzió során, majd abból nehezebb elemek keletkezése) határozta meg az univerzum terjedésének korai szakaszában. A mérések is igazolták, hogy az Univerzumban mintegy tízszer annyi hidrogén van, mint hélium. A csillagok összeomlása addig folytatódik, amíg instabilokká válnak, és kidobják az általuk felépített nehéz elemeket. A kozmikus sugarak megfigyelt intenzitása ezzel magyarázható.

– *NEUMANN János* (von Neumann; 1903 – 1957) matematikus az ENIAC elektronikus számítógép építési tapasztalatai alapján fogalmazta meg a számítógép építésének máig ható elveit. A lényeg: a számítógép bináris (kétállapotú) elemeken alapuljon, a műveleteket sorban, egymás után végezze el a memóriájában tárolt, bináris számmá kódolt adatok és utasítások alapján. A számítógép legyen univerzális, a *Turing-gép* elve alapján. Az első ilyen elveken működő számítógép az 1949-ben épített EDVAC volt. A ma gyártott számítógépek döntő többsége is a fentiek szerint épül fel.

– *Reginald Aldworth DALY* (1871 – 1957) kanadai geológus a Hold keletkezésére vonatkozó két akkori elmélet (a Hold kiszakadt a Földből, ill. a Föld által „befogott" aszteroida) elutasította, helyettük a Newtoni fizikán alapuló elmélettel állt elő. A kutatók sokáig ezt tartották helytállónak, de az utóbbi években több újabb teória született égi kísérőnk eredetére.

100 éve történt

– Ebben az évben a fizikai Nobel-díjat *Albert EINSTEIN* (1879 – 1955) német elméleti fizikusnak ítélték oda. Nem kifejezetten az általános és speciális relativitáselmélet kidolgozásáért kapta (mint talán gondolnánk), hanem „az elméleti fizika területén szerzett eredményeiért, különös tekintettel a fényelektromos jelenség törvényszerűségeinek felismeréséért".

– Január 18-én született *Yoichiro NAMBU* japán-amerikai elméleti fizikus, aki 2008-ban Nobel-díjat kapott a „Spontán szimmetriasértés a szubatomi részecskék fizikájában" elnevezésű mechanizmus felfedezéséért. (†2015)

– Március 17-én elhunyt *Nyikolaj Jegorovics ZSUKOVSZKIJ* orosz tudós, matematikus, fizikus, az áramlástan kutatója, a repülés fizikai alapfeltételeinek elemzője és elméletének kidolgozója. (*1847)

– Március 20-án született *RÉNYI Alfréd* magyar matematikus, akadémikus. Tudományos munkássága csaknem az egész matematikát felöleli, melynek szinte minden ágában maradandót alkotott, de fő szakterülete a valószínűségszámítás volt. (†1970)

– Április 1-én Elhunyt *SÜSS Nándor* (1848-ban született Ferdinánd Suess néven) (**17. ábra**) gépészmérnök, aki Budán megalapította a Süss Nándor-féle Precíziós Mechanikai

17. ábra. Süss Nándor. [https://www.google.hu/search?q=S%C3%BCss+N%C3%A1ndor&hl=hu&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwjZ25foz6HqAhXuslsKHSy4ARoQ_AUICigB&biw=1280&bih=743&dpr=1#imgrc=QnezDN7B95LZKM]

Intézetet. Az optikai elemeket és műszereket, távcsöveket, térképészeti eszközöket gyártó vállalat a '30-as évekre nagyvállalattá nőtte ki magát, főleg katonai megrendeléseket teljesített, és Magyar Optikai Művek (MOM) néven vált híressé.

– Április 15-én született *Georgij Tyimofejevics BEREGOVOJ* szovjet űrhajós, repülőmérnök, a fizikai tudományok kandidátusa. 1968-ban repült a Szojuz-3 fedélzetén, közel 4 napot töltve az űrben. A feladata az előzőleg Föld körüli pályára állított, személyzet nélküli Szojuz-2 -vel való összekapcsolódás lett volna, de a földi szimulátor hiányosságai miatt ez nem sikerült maradéktalanul. (†1995)

– Május 21-én született *Andrej Dimitrijevics SZAHAROV* Nobel-békedíjas (1975) orosz magfizikus, a szovjet hidrogénbomba-projekt egyik tudósa. (†1989)

– Július 18-án született *John Herschel GLENN* űrhajós, az első olyan amerikai űrutazó, aki megkerülte a Földet (Mercury űrhajóval, 1962. február 20-án). 1998-ban, 77 évesen a Space Shuttle fedélzetén ismét repülhetett, ezzel ő a legidősebb ember, aki valaha az űrben járt. (†2016)

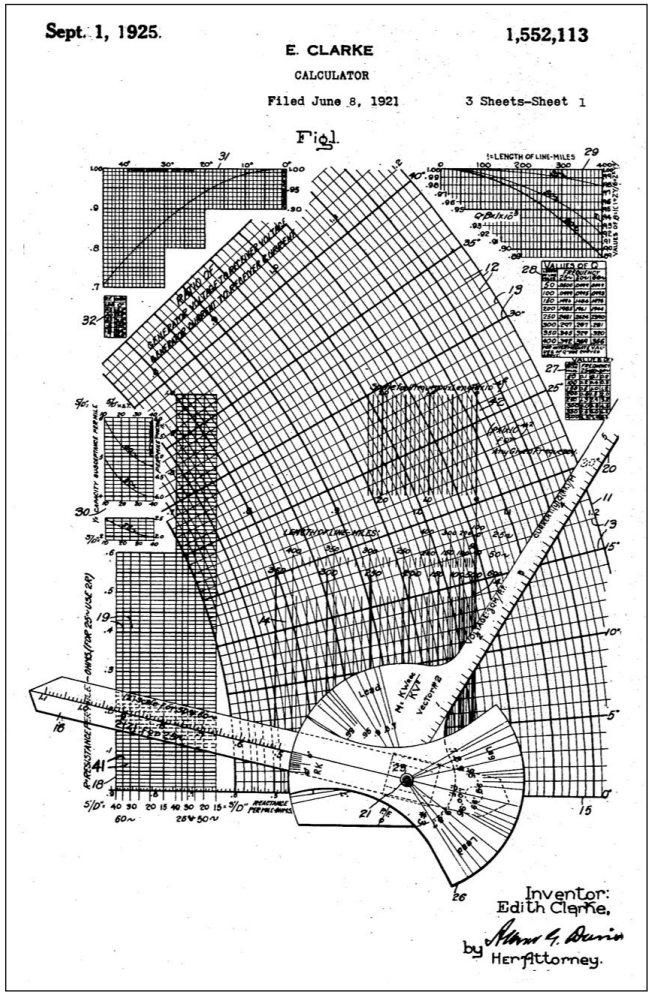
– Június 15-én kapja meg *Bessie Coleman* a Fédération Aéronautic Internationale (FAI) pilótaengedélyét. Ezzel ő az első ilyen engedéllyel rendelkező afro-amerikai nő.

– Augusztus 26-án született *Maxime FAGET* amerikai mérnök, a Mercury űrhajó egyik tervezője. Később részt vett az Apollo és a Space Shuttle programban is. (†2004)

– Október 21-én született *Ingrid van HOUTEN-GROENEVELD* holland csillagász. *Férjével* és *Tom GEHRELS*-szel több ezer kisbolygót fedezett fel, a Palomár-hegyi obszevatórium által részére továbbított felvételek tanulmányozása által. (†2015)

– Október 23-án elhunyt *John Boyd DUNLOP* skót származású, Írországban működő feltaláló. Kikísérletezte a levegőtöltésű túlnyomásos gumiabroncsot, amire 1888-ban megkapta a szabadalmat. Ám ezt 1891-ben visszavonták mert kiderült, hogy *Robert W. THOMSON*, skót mérnök már 1845-ben feltalálta ugyanezt… (*1840)

– November 21-én *Wesley MAY* egy 5 gallonos (közel l9 l-es) benzintartállyal a hátán átlép a Lincoln Standard biplánja szárnyáról egy Curtiss JN-4 szárnyára és végrehajtja az első, „légi üzemanyag-utántöltést", Long



18. ábra. A „Clarke Calculator" szabadalmi leírásának egyik oldala. [https://lrrprojects.lanexus.com/reports/edith-clarke-mother-of-invention/]

Beach, Kalifornia felett repülve. Igazi légiakrobatikai mutatvány volt!

– November 30-án elhunyt *Hermann Amandus SCHWARZ* német matematikus, aki főként a komplex analízis kapcsán ismert (*1843)

– December 12-én elhunyt *Henrietta Swan LEAVITT* amerikai amatőr csillagász, a változócsillagok fényességváltozási periódusa és abszolút fényessége közötti összefüggés felfedezője. A csillagok távolsága máig ennek alapján becsülhető meg (*1868)

– December 13-án elhunyt *Max NOETHER* német matematikus, aki az algebrai geometria és az algebrai függvények területén tevékenykedett. (*1844)

– Az 1920-ban alapított, és gyorsan csődbe ment *Gamma Műszaki Rt.* irányítását két gépészmérnök, JUHÁSZ *István* és *Zoltán* testvérpár vette át. A gyártmányválaszték többek között geodéziai és térképészeti eszközökből, valamint optikai műszerekből állt. Az 1930-as évekre már 100-nál több alkalmazottja volt. Fő tevékenységi körük a katonai eszközök fejlesztése és gyártása. A legfejlettebb terméküket, a tüzérségi lőelemképzőt, amely tulajdonképpen egy bonyolult felépítésű analóg elektromechanikai számítómű, a Gamma Művek fejlesztette ki, Juhász István elképzelései, tervei alapján. Találati valószínűség terén ez a konstrukció az összes külföldi terméket maga mögé utasította, több mint 30 országból érkeztek rá megrendelések, 16 országba exportálták, és még a II. világháborút követő években is hadrendben volt.

– *Theodor KALUZA* (1885 – 1954) matematikus, fizikus a „Zum Unitätsproblem der Physik" (A fizika egységének problémájáról) című cikkben ötdimenziós egyenletrendszert dolgozott ki, melyben egyesítette Einstein négydimenziós gravitációs egyenleteit Maxwell elektromágneses mezőre vonatkozó egyenleteivel. E hipotézis szerint az elektromágnesség nem különálló erő, hanem a gravitáció egy aspektusa egy magasabb dimenzióban.

– *Charles MACLURCAN*, az 1CM hívójelű ausztrál rádióamatőr hosszúhullámon (214 kHz-en) megkezdte a vasárnap esti klasszikus zenei koncertek sugárzását, mindössze 7 W bemenőteljesítménnyel. 1922-ben hivatalosan is megkapta a műsorsugárási engedélyt, William Morris Hughes miniszterelnök aláírásával. Maclurcan még műsorfüzetet is kiadott. A napi adás mindig így zárult: – Ne felejtsd el felhúzni az órát és kitenni a macskát!

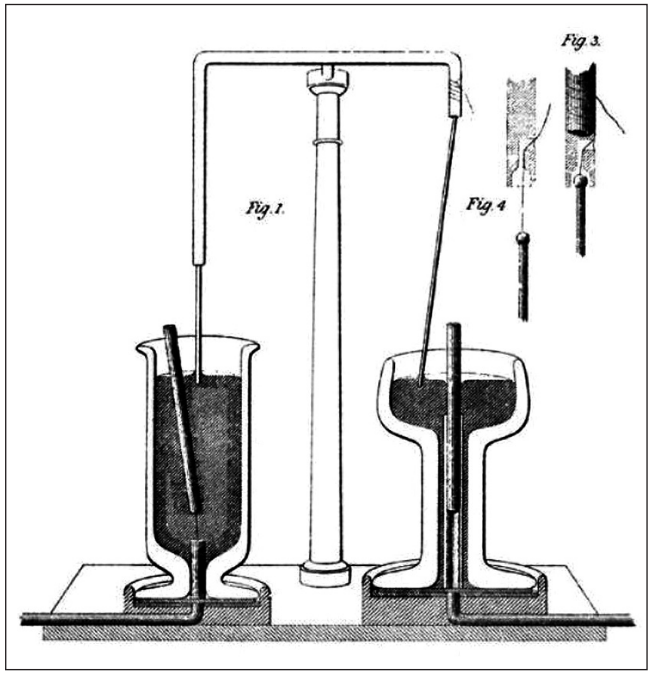
– Az eredetileg csak a hossz- és a tömegmértékre vonatkozó, 1975-ben Párizsban született Méteregyezményt (Treaty of the Metre) a 6. CGPM-en kiterjesztették többek között a villamos mértékegységekre is. Ezt még 1901-ben *Giovanni Giorgi* javasolta, egy koherens mértékrendszer megalkotása érdekében, amit aztán róla neveztek el.

– *Edith CLARKE* (1883 – 1959) villamosmérnök feltalálja a „Clarke kalkulátort", egy grafikus számolóeszközt (**18. ábra**), a hiperbolikus függvényeket tartalmazó távvezeték-egyenletek megoldására. Az eszköz leegyszerűsíti a mérnökök számára az erőátviteli vezetékek induktivitásának és kapacitásának kiszámítását.

200 éve történt

– 1821. augusztus 31-én született *Hermann von HELMHOLTZ* német orvos és fizikus. (†1894). Mindkét szakterületén jelentős eredményeket mutatott fel: foglalkozott az energiamegmaradás törvényével, megmérte az idegimpulzusok terjedési sebességét, foglalkozott az észlelés elméletével, feltalálta a szemfenéktükröt – néhány évtizede ott csillogott sok szakorvos homlokán – része van a szem retinájának háromszín-elméletében (Young-Helmholtz-elméletként vált ismertté), elméletet állított fel a hangmagasság érzékelésének fiziológiájára (a Nobel-díjas *Békési György* kutatásai a megállapításait felülírták), a tér észlelésének mechanizmusára. Sokunk által ismert a Helmholz-üreg nevű akusztikai eszköze. Eredeti kialakítása gömbszerű volt (**19. ábra**),

19. ábra. Egy korabeli Helmholz-rezonátor. [https://hu.wikipedia.org/wiki/Helmholtz-rezonancia]



20. ábra. Farady „homopoláris elektromotorja”, két változatban. [https://en.wikipedia.org/wiki/Homopolar_motor]

és hangolt sorozatát használták „frekvenciaelemzésre”.

– *Thomas Johann SEEBECK* (1770 – 1831) német tudós felfedezte az egyik termoelektromos jelenséget, az ún. Seebeck-effektust, azaz a hőelemek alapját képező hatást. Ezzel ellentétes jelenség a Peltier-effektus. Az előbbiekhez hasonló jelenségekről számolt be *William Thomson* 1851-ben végzett kísérletei alapján.

– *Augustin-Jean FRESNEL* (1788 – 1827) törvényeket tett közzé, amelyek lehetővé tették a visszatükrözött fény intenzitásának és polarizációjának kiszámítását. A reflexiós törvénye szerint, a levegő és a fényvisszaverő közeg közötti hirtelen átmeneten a fény síkban polarizálódik. Ha az átmenet fokozatos, akkor a fény elliptikusan polarizálódik. Kifejlesztett egy módszert körkörösen polarizált fény előállítására.

– *William Hyde WOLLASTON* (1766 – 1828) orvos, kémikus, fizikus, tanulmányozva *Ampère* elektrodinamikus kölcsönhatásokat demonstráló kísérleteit, feltételezte a vezeték körüli, elektromos áram által létesített koncentrikus mágneses mezőt („mágneses áramot”, ahogy nevezi), amit kis iránytűvel lehetett kimutatni. *Humphry Davy* is elfogadta Wollaston felvetését.

– *Michael FARADAY* (1791 – 1867) először Davy laboránsa, majd vegyész és fizikus. Simonyi professzor *A fizika kultúrtörténete* c. művében a „legnagyobb kísérletező”-nek nevezte. 1921-ben tette közzé a *History of the Progress of Electro-Magnetism* (Az elektromágnesség fejlődésének története) című kiadványt, amelyben elfogadta Wollaston elektromágnes-értelmezését. Egyben előre jelezte a közvetlenül forgómozgást előállító elektrodinamikus kölcsönhatást, azaz az elektromotor megvalósíthatóságát, amire egyszerű, folyadék alapú kísérleti összeállításokat is javasol (**20. ábra**). Az első igazi kommutátoros elektromotort – a „villamdelejes forgonyt” – *Jedlik Ányos István készítette* 1825-ben, majd *Ernst Werner von Siemens* fejlesztette tovább jó hatásfokú, széleskörűen használható konstrukcióvá.

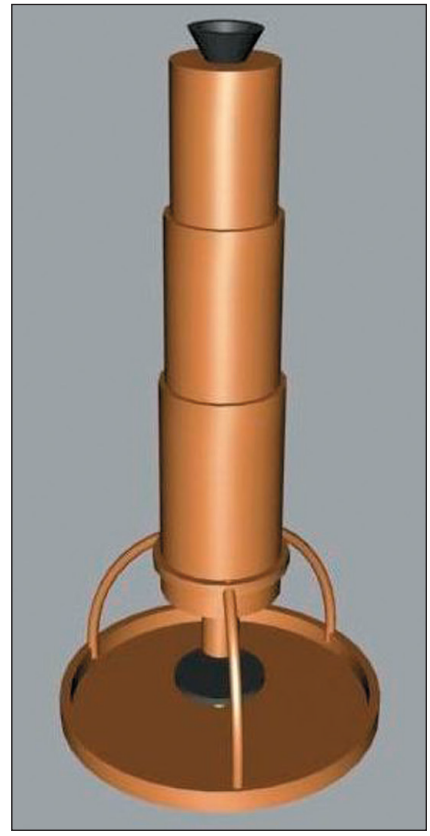
– *John HERAPATH* (1790 – 1868) fizikus az *A mathematical inquiry into the causes, laws, and principle phenomena of heat, gases, gravitation, etc.* (A hő, gázok, gravitáció stb. okának, törvényeinek és alapelvi jelenségeinek matematikai vizsgálata) a hő kinetikai elméletét javasolta, azaz az mozgás, nem pedig a anyag. Eredeti gondolata volt az is, hogy összefüggés van a gázok hőmérséklete, nyomása és térfogata között, bár az általa leírt összefüggés később nem bizonyult korrektnek. (Ma a gyakorlatban az egyesített gáztörvényt használjuk.)

– *Augustin-Louis CAUCHY* (1789 – 1857) francia építőmérnök, matematikus. A *Cours d’analyse* (Analíziskurzus, azaz az analízis tankönyve) c. műben meghatározta a matematikai analízis fogalmát, elvonatkoztatva azt a geometriai, mechanikai analógiáktól. Ennek szellemében definiálja a határérték és a differenciálhányados fogalmát.

400 éve történt

– 1621 January 16-án született *Magnus CELSIUS* (eredetileg Magnus Nicolai Metagrius), svéd csillagász, matematikus, régész és botanikus. Megalapította az Upsalai Csillagászati Obszervatóriumot. Nem tévesztendő össze *Anders Celsius*-szal, a máig használatos hőmérsékleti skála megalkotójával, aki az unokája volt! (†1679)

– Július 2-án elhunyt *Thomas HARRIOT*, angol csillagász és matematikus. Kezdetben a tengerészeti navigációval foglalkozott, sokat hajózott. A navigációt oktatta is, de sajnos, a közben keletkezett munkája elveszett. Foglalkozott ágyúgolyóknak a hajóra való leghatékonyabb rakodásával és csomagolásával. Az ezzel kapcsolatos megállapításai megdöbbentő módon hasonlítanak a modern atomelmélet némely tételére. Az optikával kapcsolatos gondolatait levélben megosztotta Keplerrel, akit inspiráltak elképzelései. Távcsövet vásárolt, megfigyelte a Halley üstököst és a Holdat, amiről pontos térképet rajzolt, megelőzve Galileit. Elsők között észlelte a napfoltokat. (*1560)



21. ábra. Ilyen lehetett Drebell mikroszkópja. [https://proto57.wordpress.com/tag/cornelis-drebbel/]

– *Cornelis Jacobszoon DREBBEL* (1572 – 1693) mérnök, feltaláló Londonban bemutatja a konvex objektívvel és konvex szemlencsével ellátott összetett mikroszkópját („Kepler-mikroszkóp”). Előtte *Galileo Galilei* is épített összetett mikroszkópot, de az – hasonlóan a távcsövéhez – konvex tárgylencsét és konkáv szemlencsét tartalmazott. A **21. ábrán** Drebbel mikroszkópjának a fennmaradt dokumentumok alapján készült számítógépes rekonstrukcióját láthatjuk. Azt, hogy Drebbel volna az ilyen elvű mikroszkóp feltalálója, többen vitatják.

– *Willibrord SNELL* (vagy Snellius; 1580 – 1626) holland csillagász és matematikus a *Cyclometricus, de circuli dimensione* c. művében ismertette a refrakciós törvényét, amely szerint a fénysugarak beesési és a kilépési szögei szinuszának aránya állandó, amely a fénytörő közeg anyagától függ. Ma ezt az állandót törésmutatónak nevezzük. Ez a törvény azt sugallja, hogy a közegben a fény sebessége fordítottan arányos annak törésmutatójával. *René Descartes* Snell halála után publikálta a Cyclometricust. A fenti törvényt Snellius-Descartes törvénynek nevezzük.

– *Galileo GALILEI* (1564 – 1642) itáliai fizikus, csillagász, matematikus, természettudós, az általa a fizikában meghonosított kísérletezések/mérések közben megállapította, hogy a szabadon zuhanó test gyorsulása arányos az idővel, függetlenül a súlyától és a sűrűségétől. Az elterjedt közhiedelemmel ellentétben a fenti megállapításhoz vezető kísérleteket nem a pisai Ferde Toronyról történő ejtésekkel, hanem valószínűleg különböző anyagú gömbök lejtőkön való gurításával végezte.

(E visszatekintés az 1992-es évkönyvünkben megkezdett, azonos című „sorozat” folytatásának is tekinthető. A szövegben *-gal a születési, †-tel a halálozási évet jelöltük.)

Forrasztószett 9.990 Ft

ALAP: 60 W-os hőfokszabályozós páka, 5 db póthegy, pákatartó, forrasztóón, önszippantó, hordtáska.
TARTOZÉKOK: összetétel változó, de a szettek összértéke egyforma!
(Pl. a páka 80 W-os, LCD-s hőkijelzővel – a szettben kevesebb az egyéb kiegészítő.)
hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu
(1) 239-4932/36, 239-4933/36 1550 Bp., Pf. 123

A
REMÉNYI ALAPÍTVÁNY
hálás köszönettel befogadta a
»RÁDIÓTECHNIKA«
Kedves Olvasóinak szja 1%-os támogatását.

Jelentjük: 24 év pályázataival közel
6 millió forinttal
támogattuk a rádiózás iránt érdeklődő, mellette jól tanuló, arra érdemes gyermekeket.

Kérjük, ha megtehetik, akkor „1%-mentes időkben” is max. 1000 Ft-tal támogassák alapítványunkat:
11708001 – 20396990

»PS30SW, a villanybors«

13,8 V /28-30 A-es hálózati stab. táp.
Kapcs.üzemű, bemenet: 220-230V AC / 50-60 Hz
Kimenőfesz.-változás: <2%
Zajfesz.: <80 mVp-p (telj. terh.-nél)
Műszer fesz-, vagy árammméréshez
Állítható zajelnyomás
Ventilátoros hűtés
Rövidzár- és túlfeszültség-védelem
Áramkorlátozás: 30 A
Mérete: 151 x 74 x 196 mm
Súlya: 1,64 kg
Ára: 23.950 Ft (+posta)
+ajándék rádiós naptár
hambazar@radiovilag.hu
(+36 1) 239-4932/36 m.
(+36 1) 239-4933/36 m.
1550 Bp., Pf. 123
www.radiovilag.hu
4

LCR-T4 multiteszter 1

L-C-R-mérés: 0,01 mH...20 H; 25 pF…0,1 mF; 0,1 Ω-tól
Felismer és lemér: npn, pnp tranzisztort, jFET-et, MOSFET-et, tirisztort, diódát, LED-et. Táp: 9 V (6F22). Megszerelt panel, csak a plexi házát kell összeállítani.
A HAM-bazárban csak 7.990 Ft

Kézi frekvenciamérő rádióteszteléshez
CTCSS és DCS kijelzéssel

RK–560 típ.
csak **10.990 Ft**

50 MHz ... 2400 MHz
1 gomb kezelés
botantennás bemenet
9 V-os táplálás
10,5 x 8 x 2,5 cm
súly: 110 g

hambazar@radiovilag.hu
(1) 239-4932/36, 239-4933/36
1550 Bpest., Pf. 123 www.radiovilag.hu

Ferritmagos tekercsek,
ferritmagos transzformátorok,
hálózati transzformátorok, NF-tekercsek, csévetestek, ferritek, smd-induktivitások, Amidon porvasmagok
nagy választékban kaphatók!
Postai utánvéttel is szállítunk.
TALI Bt.
2600 Vác, Zrínyi u. 39.
☎ 06/27/501 220 Fax: 06/27/501 221
tali@vnet.hu www.tali-transformers.com

A HAM-bazár kínálatából...

…érdekességek. – Aktuális árak és a teljes lista a www.radiovilag.hu honlapon.

ÁFÁ-s árak! – Árak a típusnál közölt db-számokra vonatkoznak. – Az árváltoztatás joga fenntartva!

ELEKTRONCSŐ FOGLALATOK	Ft
2A3, 300B, 811A kerámia	2 900
4S040T, QB3,5/700 GIANT ker.	4 900
Anódsapka 811, 813, 572B, OS125/2000-hez, kerámia	890
EURO4, 4-lábú régi csövekhez (pl. L414)	1 200
EURO5 kerámia, nem nyák-ba	1 600
GU50 bontott kerámiafoglalat	1 200
MAGNOVÁL kerámiafoglalat (PL509), nem nyák-ba	1 100
NOVÁL kerámia, nem nyák-ba	790
NOVÁL kerámia, nyák-ba	790
OKTÁL kerámia (EL34, 6L6), nem nyák-ba	990
OKTÁL kerámia (EL34, 6L6), nyák-ba	990
OS125/2000, 803 kerámiafogl. + ker. anódsapka	3 400
OS51, 6SZ33SZ bakelitfoglalat	1 200
OS51, 6SZ33SZ kerámiafoglalat	1 900
RIMLOCK kerámiafoglalat (ECC40, EL41), nem nyák	790
UX-6 kerámia csőfoglalat	1 100

ELEKTRONCSÖVEK	Ft
Elektroncsövek	
108C1	2 000
12AT6	2 500
12BA6	2 500
12BE6	2 500
12SG7GT	1 500
19J6 (TUNGSRAM)	3 900
1L4	1 990
1P24B-V (mini, drótlábú RF pentóda)	890
1S5T	1 990
1T4T	1 990
1ZS24B (mini, drótlábú RF pentóda)	890
1ZS29B	890
2ZS27L	890
3S4T	1 990
3V4	1 990
4P1L	1 500
4ZS1L	990
5AR4 (=GZ34)	7 900
5C4SZ	3 990
5U4GB	6 490
6080 kettős trióda OTL HIFI-be	8 900
6A8G	2 900
6AC7 (RCA mil. 1945 febr., org.)	10 000
6AK5W (=5654W, Siemens)	4 900
6AK6	1 500
6AL5 vagy 6H2P	1 500
6AQ5 (=EL90)	2 900
6AQ5 párba válogatva (2 db)	6 000
6AT6	2500
6AU6	2 600
6AV6 (=EBC91)	2 900
6BA6	2 500
6BH6 (RCA)	2 600
6CD6 (RSD)	4 200
6E5P	3 900
6F6G	3 900
6H6SZ	350
6K7G	1 500
6L6G vagy 6P3SZ	8 900
6L6G v. 6P3SZ párban (1 pár)	19 900
6L6GC párba válogatva (1 pár)	19 900
6L6GC quadba vál. (1 quad)	39 990
6N13SZ (=6080)	4 900
6N2P-EV orosz military ECC83	2 500
6N2P-EV vál. o. military ECC83	3 500
6N3P (=2C51, =5670)	1 500
6N8SZ (=6SN7)	5 900
6N9SZ (=6SL7)	4 900
6P3SZ-E hosszú élett. 6L6G	8 900
6P3SZ-E párba válogatva (2 db)	19 900
6P9 (=6AG7)	990
6SN7GT kifogyott	8 500
6X4	2 990
6ZS1P (=6AK5)	890
6ZS9P (E180F)	2 900
811A kifogyott	24 990
85A2	2 000
8737/5894B (Amperex, QQE06/40)	4 900
ACH1	4 900
AK1	3 300
AZ21	3 900
AZ4	9 900
CV2127 (Mullard)	3 600
DLL101	2 100
DY86	290
E180F	2 900
E236L párba válogatva (2 db)	8 900
E280F	4 900
E80CC	5 500
E81H	490
E81L	4 000
E83F	2 200
E88CC (JJ)	5 900
EA50 (Philips)	2 900
EAA901S	1 500
EABC41 kifogyott	2 200
EABC80	2 900
EBC41	2 200
EBF80	2 200
EBF89	2 900
EBL21	4 900
EC360 végtrióda SE HIFI-be	7 900
EC81 (Philips)	4 000
ECC40	4 900
ECC803S kifogyott	6 900
ECC81	5 300
ECC82	5 300
ECC83 (JJ)	5 100
ECC832 (=12DW7)	7 990
ECC85	3 500
ECC91 (Siemens)	1 900
ECC960	2 200
ECF80	2 900
ECF82	2 900
ECH21	3 600
ECH42	1 600
ECH81	2 900
ECH84	250
ECL80	1 500
ECL82	4 900
ECL85 (6F5P)	3 500
EF183	2 000
EF184	2 000
EF22	2 500
EF40	3 900
EF42	1 200
EF80	890
EF83 (Philips)	3 400
EF85 (HM, katonai)	1 200
EF91 (=6AM6)	1 200
EL34 párba válogatva (2 db)	15 900
EL34 quartettbe válogatva (4 db)	31 900
EL504	4 900
EL504 párba válogatva (2 db)	9 900
EL508 (Philips)	4 900
EL803S (Telefunken)	4 900
EL81 (Mullard)	3 000
EL84 vagy 6P14P-EV	5 900
EL84 (=6P14P-EV) párban (2 db)	11 900
EL84 v. 6P14P-EV quadban (4 db)	23 900
EM71 kifogyott	4 000
EM84 v. 6E2P	4 000
EY51	1 600
EY86	590
EZ2/3	4900
EZ4	3 400
EZ40	3 400
EZ80	4 900
EZ81	5 900
GI15B	1 900
GSZ24B	4 900
GU17 (=QQE03/12)	2 000
GU32B	2 500
GU50	1 990
GU50 párba vélogatva	4 600
GU50 guartettbe válogatva (4 db)	10 000
IV17	2 900
KT66 párban (2 db) rendelésre	36 990
KT66 quartett (4 db) rendelésre	73 990
KT88 párban (2 db) kifogyott	39 990
LD8035E	1 900
OS51	12 700
PCF200	990
PCF201	990
PCF801	990
PCF802	990
PCL81	990
PCL84 (Siemens)	990
PCL84 (Siemens) 100 db!	49 000

Megvásárolhatók személyesen a szerkesztőségben:
Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó., csüt. 09-17 ó. Vagy postán,
rendelésre: 239-4932/36 m. 239-4933/32 m. 1550 Bp. Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu
Minimális postai ALKATRÉSZ-rendelés: 3 000 Ft + postaköltség!

é k 2 1 1

A HAM-bazár kínálatából...

...érdekességek. – Aktuális árak és a teljes lista a www.radiovilag.hu honlapon.

ÁFÁ-s árak! – Árak a típusnál közölt db-számokra vonatkoznak. – Az árváltoztatás joga fenntartva!

ELEKTRONCSÖVEK	Ft
PCL86	3 900
PFL200	1 200
PL36	4 000
PL500	4 000
PL504	4 900
PL504 párban (2 db)	9 900
PL509	4 900
PL509 párban (2 db)	9 900
PL81	990
PL84	3 900
PV200/1000	3 200
PV200/600	3 200
PY83	2 900
QEL1/150	5 900
QQE02/5	1 900
QQE03/12 (=GU17)	2 000
QQE03/20	2 900
QQE06/40	4 900
UABC80	2 200
UBC81	1 200
UBF89	1 400
UBL21	4 900
UCH42	1 200
UF41	890
UM80	3 900
UY1N	1 900
UY22	1 900
UY41	1 900
VR150 (=OD3, =SZG4)	2 000
VR75 (=OA3, =SZG2)	2 000
YL1130	2 000

DIÓDÁK	Ft
1D507A (Ge, 20 V/20 mA) - 5 db	100
1JK30 (Si, 3 kV/20 mA/) - 3 db	100
1N34A (60 V/50 mA) - 1db	100
1N4006 (800 V/1 A) - 24 db	100
1N4007 (1000 V/1 A) - 20 db	100
1N4148 (100 V/200 mA/4) - 30 db	150
1N4154 (35 V/100 mA/) - 40 db	150
1N5711 (70 V/15 mA/0,1 ns(!)	100
1N740A v. 1N5273 (Z, 120 V) - 4 db	100
1T32-T8 (VHF/UHF varikap) - 3 db	100
2A507A (Si, 100 V/0,1 A/200 GHz) - 5	5 000
2A517A (Si, szubmini, 75 GHz) – 2 db	1 000
2D103A (Si, 75 V/50 mA) - 5 db	100
2D204A (Si, 400 V/600 mA) - 20 db	100
2D204B (Si, 200 V/600 mA) - 8 db	100
2D510 (Si, 50 V/200 mA) - 10 db	100
2G401B (RH zajdióda) - 1 db	100
2SZ133A (Z, 3,3 V/10 mA) - 10 db	100
2SZ147A (Z, 4,7 V/10 mA) - 10 db	100
2SZ168A (Z, 6,8 V/10 mA) - 10 db	100
2SZ175ZS (Z, 7,5 V/4 mA) - 10 db	100
2SZ182ZS (Z, 8,2 V/4 mA) - 10 db	100
2V102ZS (varikap, 23,5 pF/4 V 11 pF/80 V; Q=50 4 V/50 MHz) - 3 db	100
2V104D (varikap, 160 pF/4 V 76 pF/ /80 V; Q=100 @ 4 V/10 MHz) - 3 db	100
2V110V (varik. 22 pF/4 V 8,8 pF/45 V Q=300 @ 4 V/50 MHz) - 3 db	100
80SQ045 (45 V/8 A/>100 kHz)	150
BA157 (400 V/1 A; 250 ns) - 12 db	150
BA159 (1000 V/1 A; 250 ns) - 8 db	100
BA243 RF-kapcsoló - 40 db	100
BA283 VHF-k (35 V/100 mA) – 40 db	150
BA682 (35 V/0,1 A, m. MELF) - 10 db	100
BAS70–04 dual Schottky, SMD - 2 db	100
BAT41 (100 V/0,1 A, 2 pF, 5 ns) - 2 db	100
BAT54S dual Schottky, SMD - 4 db	100
BB112 varikap (470 pF/1 V)	150
BB133 SMD varikap (46 pF/0,5 V)	100
BB139 varikap (29 pF/3 V)	100
BB141A varikap (16 pF/1 V) - 3 db	100
BB221 V/UHF varikap - 1 db	100
BB329 (=BB529, 35 pF/1 V 2,9 pF/ /30 V) - 3 db	100
BB521 (17 pF/1 V, ~BB221) - 12 db	100
BB565 UHF varikap - 2 db	100
BBY39 dual varikap	200
BY134 (600 V/1 A) - 30 db	100
BY255 (1300 V/3 A) - 8 db	200
BY398 (400 V/3 A; 250 ns) - 10 db	190
BZV55C24 (SMD Z, 24 V/0,5W)	100
D106 (Ge, általános haszn.)	100
D223 (50 V/50 mA) - 10 db	100
D814B (zener, 9 V/30 mA) - 10 db	100
D814G (zener, 11V/30 mA) - 10 db	100
D817V (zener, 82 V/50 mA) - 2 db	100
D818E (zener, 9 V/10 mA) - 10 db	100
D9B (~OA1160, 10 V/40 mA)	100
DB3 diak - 3 db	100
FDH400TR (200 V/0,2 A/50 ns/2 pF; DO-35) - 2 db	100
KBPC5010 graetz (1000 V, 50 A)	690
KD105B (400 V/0,3 A) - 300 db	600
MA2560 (56 V/1 W, zener) - 10 db	100
MPN3700 (PIN, 200 V, TO–92)	100
N125 (Si, univ. kapcsoló) - 30 db	150
OA1154	100
OA1180 aranytűs	100
RB441Q-40 (Sch. 40 V/0,1 A) kifogyott	100
RGP10G (400 V/1 A, 150 ns) - 8 db	100
Z200 (zener, 200 V/5 mA) - 4 db	100
ZP1 zenerpakk (70 db klf. Z-dióda, 2 V...120 V értékűek)	700
ZPD12 (zener, 12 V) - 10 db	100
ZPD17 (zener, 17 V) - 10 db	100
ZPD33 (zener, 33 V) - 10 db	100
ZPD6,2 (zener, 6,2 V) - 10 db	100
ZPD8,2 (zener, 8,2 V) - 10 db	100
ZTE2 (2 V-os zener) - 10 db	100
ZX5,6 telj. Z (5,6 V, 12,5 W)	100
ZX8,2 telj. Z (8,2 V, 12,5 W)	100
ZY110 (zener, 110 V) - 4 db	100
~ZPD10 (zener, 10 V) - 10 db	100
~ZPD15 (zener, 15 V) - 10 db	100

TRANZISZTOROK	Ft
2N2218A (npn, 50 V/0,8 A) - 2 db	100
2N2222A (npn, 60 V/0,8 A/0,5 W, TO-92) - 4 db	100
2N2369 (npn, 40 V/0,5 A/500 MHz)	100
2N2904A (pnp, 60 V/0,6 A) - 2 db	100
2N2905A (pnp, 60 V/0,6 A)	100
2N2906A (pnp, 60 V/0,6 A/200 MHz) - 10 db	200
2N3055 (npn, 60 V/15 A/115 W, TO-3)	300
2N3375 (npn, URH adótr., 28 V-ra)	1 490
2N3375 bontott (npn, URH adó 28 V)	990
2N3553 (URH adótr., 28 V-os)	890
2N3632 (npn, URH adótr., 28 V-ra)	1 990
2N3632 bontott (npn, URH adó, 28 V)	1 490
2N3866 (npn, URH adótr., 28 V/1 W/ /400 MHz)	590
2N3904 (npn, 40 V/0,2 A/300 MHz) - 6 db	100
2N4091	490
2N5045 dual jFET (n-csat, 50 V/ /30 mA)	890
2N5109 (npn, 20 V/0,4 A/1,2 GHz)	390
2N6109 (pnp, 60 V/7 A/40 W)	100
2N6290 (npn, 60 V/7 A/40 W)	100
2N7002 (n, DMOS 60 V/110 mA SMDA) – 2 db	100
2N708 (npn, 15 V/0,2/300 MHz)	100
2SA1048 (pnp, 60V/0,15 A0,3 W/ /140 MHz, bontott) - 10 db	100
2SA476 (pnp, Ge, 18 V/10 mA/ /65 MHz)	100
2SC3153 (npn, 800 V/6 A/ /15 MHz/100 W)	250
2SC3298 (npn, 200 V/1,5 A/100 MHz/ /20 W)	150
2SC4043S (npn, 11 V/50 mA/ /3,2 GHz) – 3 db	200
2SC4793 (npn, 230 V/1 A/100 MHz/ /20 W, szigetelt tok)	200
2SC5707-E	350
2SC680A (npn, 120 V/2 A/12,5 W)	100
2SD1005 (npn, 80 V/1 A/160 MHz, smd) - 3 db	200
2SD1760 (npn, 50 V/3 A/ 90 MHz/ /15 W, D-Pack)	100
2SD1803 (npn, 50 V/5 A/180 MHz/ /20 W, TO-251)	150
2SK168D jFET, RF-re (n-csat.)	100
2SK241 MOSFET (n-csat, 20 V/ /14 mA,10 mA/V, N=1,7 dB, VHF-re, bontott) - 10 db	200
2T904A (~2N3375, URH adótr, 28 V-ra)	1 490
2T904A bontott (~2N3375, URH adótr, 28 V-ra)	990
2T931A (URH adótranz., 28 V-ra)	3 900
2T950A (RH adótranz., 28 V-ra)	2 490
2T955A (npn, 20 Wki 30 MHz/28 V)	1 490
AC187 (npn, Ge, 24 V/1 A/1 W) kifogy.	100
AFY12 (pnp, Ge, 18 V/10 mA/230 MHz)	300

Megvásárolhatók személyesen a szerkesztőségben:
Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó., csüt. 09-17 ó. Vagy postán, rendelésre: 239-4932/36 m. 239-4933/32 m. 1550 Bp. Pf. 123. hambazar@radiovilag.hu
Minimális postai ALKATRÉSZ-rendelés: 3 000 Ft + postaköltség!

é k 2 1 2

A HAM-bazár kínálatából...

...érdekességek. – Aktuális árak és a teljes lista a www.radiovilag.hu honlapon.

ÁFÁ-s árak! – Árak a típusnál közölt db-számokra vonatkoznak. – Az árváltoztatás joga fenntartva!

TRANZISZTOROK	Ft
ASZ15	600
BC122 (npn, Si, 20 V/75 mA/ /250 MHz/F=2,5 db) - 4 db	100
BC160 (pnp, 40 V/1 A/3,7 W/ /100 MHz)	100
BC161 (pnp, 60 V/1 A/3,7 W/ /100 MHz)	100
BC182B (npn, 50 V/0,1 A/150 MHz) - 5 db	100
BC212B (pnp, 50 V/0,1 A/200 MHz) - 5 db	100
BC250 (pnp, 20 V/0,1 A/180 MHz) - 5 db	100
BC301 (npn, 60 V/1 A)	100
BC303 (pnp, 60 V/1 A)	100
BC304 (pnp, 45 V/1 A) - 2 db	100
BC308B (pnp, 25 V/0,1 A/130 MHz) - 20 db	100
BC327-40 (pnp, 40 V/0,5 A/100 MHz, TO–92) - 6 db	100
BC328-40 (pnp, 25 V/0,8 A/100 MHz/ /0,625 W, TO–92) - 12 db	100
BC516 (pnp, darl. 30 V/0,5 A) - 2 db	100
BC517 (npn, darl. 30 V/0,5 A) - 2 db	100
BC546B (npn, 65 V/0,1 A/300 MHz, TO–92) - 5 db	100
BC547C (npn, 45 V/0,1 A/300 MHz, TO–92) - 5 db	100
BC548B (npn, 30 V/0,1 A/300 MHz, TO–92) - 5 db	100
BC557C (pnp, 45 V/0,1 A/150 MHz, TO–92) - 5 db	100
BC559C (pnp, 30 V/0,1 A, F=0,5 dB, TO–92) - 5 db	100
BC639 (npn, 80 V/1 A, 200 MHz, TO–92) - 3 db	100
BC640 (pnp, 80 V/1 A, 200 MHz, TO–92) - 3 db	100
BCY58 (npn, 32 V/0,2 A) - 1 db	100
BCY78 (pnp, 32 V/0,2 A) - 6 db	100
BD138 (pnp, 60 V/1,5 A/12 W/ />50 MHz) - 3 db	100
BD139 (npn, 80 V/1,5 A/12 W/ >50 MHz) - 2 db	100
BD140 (pnp, 80 V/1,5 A/12 W/ >50 MHz) - 2 db	150
BD166 (pnp, 45 V/1,5 A/6 MHz/ /20 W) - 6 db	150
BD238 (pnp, 100 V/2 A/25 W) - 1 db	100
BD239C (npn, 100 V/2 A) - 1 db	100
BD242A (pnp, 60 V/3 A/40 W) - 1 db	120
BD243C (npn, 100 V/6 A/65 W)	150
BD244A (pnp, 60 V/6 A/65 W) - 2 db	120
BD244B (pnp, 80 V/6 A/65 W) - 2 db	150
BD244C (pnp, 100 V/6 A/65 W)	150
BD246 (pnp, 60 V/10 A/80 W)	80
BD246B (pnp, 80 V/10 A/80 W)	100
BD249C (npn, 100 V/25 A/125 W)	250
BD250C (pnp, 100 V/25 A/125 W)	250
BD329 (npn, RH adótranzisztor)	290
BD433 (npn, 22 V/4 A/36 W) - 4 db	190
BD438 (pnp, 45 V/4 A/36 W/3 MHz) - 2 db	100
BD536 (pnp, 60 V/8 A/50 W/12 MHz)	100
BD809 (npn, 80 V/10 A/90 W, TO–220	200
BD810 (pnp, 80 V/10 A/90 W, TO–220	200
BD901 (npn, darl, 100 V/8 A/1 MHz)	100
BDX33C (npn, darl., 100 V/10 A/ /70 W, TO-220)	100
BDX34C (pnp, darl., 100 V/10 A/ /70 W, TO-220)	100
BDY12 (npn, RH adótranzisz.) - 3 db	490
BF247A jFET (n-cs., 25 V, V/UHF-re)	100
BF256B jFET (n-csat., 30 V, UHF-re)	150
BF257 (npn, 160 V/0,1 A) - 2 db	100
BF679 (pnp, 40 V/0,03 A/850 MHz) - 3 db	100
BF680 (pnp, 35 V/0,03 A/160 mW/ /750 MHz) - 10 db	100
BF961 (dual-gate MOSFET, n-csat., RF) - 2 db	100
BF964 (dual-gate, MOSFET, n-csat., RF) - 2 db	100
BF970 (pnp, 35 V/0,03 mA/ /1000 MHz) - 6 db	100
BF982 (dual-gate, MOSFET, n-csat., RF) - 2 db	100
BFJ50 (npn, ~BC300) - 2 db	100
BFR93A (npn, SMD, 12 V/35 mA/ /6 GHz) - 3 db	200
BFR94 (npn, 25 V/0,15 A/3,5 GHz/ /3,5 W)	990
BFR96TS (npn, 15 V/0,1 A/5 GHz; TO–50)	100
BFW30 (npn, 10 V/50 mA/1,8 GHz/ /0,25 W, TO–72)	100
BFY33 (npn, 24 V/0,5 A)	100
BFY46 (npn, 30 V/0,5 A)	100
BFY70 (npn, 60 V/1 A; 28 V/175 MHz/ /Pout=1,5 W)	390
BFY90 (npn, 15 V/25 mA/1,8 GHz/ /0,2 W, TO–72)	100
BS170 (n, MOSFET, 60 V/0,5 A/ /0,8 W/1,8 ohm; TO-92) - 2 db	100
BSX32 (npn, 40 V/1 A/300 MHz/0,8 W, TO–39) - 2 db	100
BU323A (npn, darlington, 400 V/10 A/ /175 W, TO–3)	250
BU326A	250
BUT56A vagy ON4213 (npn, 1000 V/ /8 A/100 W/10 MHz)	250
BUY18S (npn, 200 V/7 A/50 W/ /50 MHz) – 2 db	290
BUZ11 (n, MOSFET, 50 V/30 A/75 W/ /0,04 ohm)	200
BUZ71A (n, MOSFET, 50 V/13 A/ /40 W/0,12 ohm)	150
FQP630 (n, MOSFET, 200 V/9 A/ /80 W/0,4 ohm)	200
IRF510 (n, HEXFET, 100 V/5,6 A/ /0,54 ohm, RH végfokba jó) - 2 db	250
IRF520 (n, HEXFET, 100 V/9,2 A/ /0,27 ohm, RH végfokba jó)	200
IRF530 (n, HEXFET, 100 V/14 A/ /0,16 ohm, RH végfokba jó)	200
IRF640 (n, MOSFET, 200 V/18 A/ /140 W/0,18 ohm)	250
IRFP150 (n, MOSFET, 100 V/ /40 A/0,055 ohm)	200
IRFP250 (n, MOSFET, 200 V/ /30 A/0,085 ohm)	250
IRL540N (n, MOSFET, 100 V/ /36 A/140 W/0,044 ohm)	290
IRLL014N (n, MOSFET, 55V/2 A/ /0,14 ohm; SMD)	100
J211A jFET (n-csat., 25 V/20 mA, HF/VHF-re, TO-92)	100
KSC815Y (npn, 45 V/0,2 A/0,4 W/ /200 MHz) - 6 db	100
KT903A (npn) - 1 db	100
KT922A (npn, 175 MHz/7 Wki/ /28 V, adótr.)	1 490
KTD863 (npn, 60 V/1 A/1 W/ /150 MHz) - 5 db	100
MJE243 (npn, 100 V/4 A/15 W, 40 MHz)	150
MJE253 (pnp, 100 V/4 A/15 W, 40 MHz)	150
MJE3055 (npn, 70 V/10 A/90 W)	200
MJL21193 (pnp, 250 V/16 A/200 W, 4 MHz)	1 700
MJL21194 (npn, 250 V/16 A/200 W, 4 MHz)	1 700
MM8009 (npn, V/UHF adótr.)	490
MP14B (pnp, Ge hangfrekv.)	100
MP26A (pnp, Ge hangfrekvenciás)	100
MPSA42 (npn, 300 V/0,5 A, TO–92) - 2 db	100
MPSA92 (pnp, 300 V/0,5 A, TO–92) - 2 db	100
OC1044 (Ge, RF)	500
OC1074 (Ge, HF)	500
P210B	400
P214B	400
P217B	400
SLA5054 (n, 3 × 2 db, közös source-ű MOSFET-ből álló modul)	390
STP16NE06 (n, MOSFET, 60 V/16 A/ /60 W/0,1 ohm, TO–220)	150
TIP2955 (pnp, 60 V/15 A/90 W)	200
TIS75 jFET (30 V, ált., TO-92) - 2 db	100
TP4 tranzisztorpakk (60 db klf. npn, pnp, Si és Ge kisteljesítményű)	500
TP5 tranzisztorpakk (140 db klf. npn, pnp, Si és Ge kisteljesítményű)	1 000
TP6 tr.pakk (25 db klf. npn, pnp Si és Ge nagyteljesítményű)	1 000
TP7 tr.pakk (60 db klf. npn, pnp Si és Ge nagyteljesítményű)	2 000
U404 duál jFET	790

Megvásárolhatók személyesen a szerkesztőségben:
Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó., csüt. 09-17 ó. Vagy postán, rendelésre: 239-4932/36 m. 239-4933/32 m. 1550 Bp. Pf. 123. hambazar@radiovilag.hu
Minimális postai ALKATRÉSZ-rendelés: 3 000 Ft + postaköltség!

é k 2 1 3

A HAM-bazár kínálatából...

...érdekességek. – Aktuális árak és a teljes lista a www.radiovilag.hu honlapon.

ÁFÁ-s árak! – Árak a típusnál közölt db-számokra vonatkoznak. – Az árváltoztatás joga fenntartva!

TIRISZTOR, TRIAK, PUT, SSR	Ft
2U208G triak (400 V/5 A, orosz, fémházas, ø6 mm-es csavarral)	250
BT136-800E triak (800 V/4 A érzékeny kapus)	150
BT138-800 triak (800 V/12 A; TO–220)	290
BT139-800 triak (800 V/16 A; TO–220)	290
BT151-800 tirisztor (800 V/12 A; TO–220)	250
BT152-800 tirisztor (800 V/20 A; TO–220)	300
KT206/200 tirisztor (200 V/3 A)	150
KT505 tirisztor (400 V/1 A, TO-39)	100
MAC97A8 triak (600 V/0,6 A, TO-92)	100
MCR100–8 tirisztor (600 V/0,8 A, TO-92) - 3	200
MCR22–8 tirisztor (600 V/1,5 A, TO-92)	100
TIC47 tirisztor (200 V/0,6 A, TO-92) 2 db	100
2N6027 PUT (40 V/0,3 W, TO-92) - 3 db	200
SP1 SSR-pakk, 3 db bontott, 240 V/ /25 A AC szilárdtest reléből	5 000

INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK	Ft
153UD2 (=LM301, orosz, military)	450
2708 (EPROM)	990
741PC (op. amp., 8-lábú DIP) - 3 db	200
7805CT (+5 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
7812CV (+12 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
7824CV (+24 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
78L05ACZ (+5 V/0,1 A stab., TO-92) - 2 db	100
78L12 (+12 V/0,1 A stab., TO-92) - 2 db	100
7905CV (–5 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
7905KC (–5 V/1,5 A, TO–3)	100
7912 (–12 V/1,5 A stab., TO-220) - 2 db	150
79L24 (–24 V/0,1; A TO-92) - 2 db	100
A244D (=TCA440)	990
A270D (=TBA970) - 2 db	100
A290D (MC1310) szter.dekóder - 2 db	100
AD581TH (szuper prec. 10 V-os referencia IC)	1 000
AN6884 (5 LED-es logaritmikus szint-kijelző)	990
BA1404 IC + 38 kHz pilot kvarc	1 290
C81A/CTV972	290
CD4001 (4×2 bemenetű NOR) - 4 db	200
CD40106 (6×INV, Schmitt-tr.) - 3 db	200
CD4011 (4×2 bem. NAND) - 4 db	200
CD4016 (quad kapcsoló) - 3 db	200
CD4017 (Johnson számláló) - 3 db	200
CD4060 (oszc. + 14 tagú bin, osztó) - 3 db	200
CD4066 (quad kapcsoló) - 3 db	200
CD4093 (4×2 bemenetű NAND, Schmitt-tr.) - 4 db	200
KA33VTA (33 V-os referencia IC, TO–92) - 4 db	100
KIA7442P - 3 db	100
LIC1 lineár IC pakk (40 db különféle lineár IC)	1 200
LM224 (4-es op. amp.) - 3 db	200
LM2904 (dual op. amp., DIP-8) - 4 db	200
LM2940CT-15 (+15 V/1 A stab., 0,5 V/1 A dropout!) - 2 db	190
LM311 (komparátor, DIP8) - 4 db	200
LM317LMX (szabályozható stab. +1,2...37 V/0,1 A, 8–SOP) - 3 db	100
LM317T (szabályozható stab. +1,2...37 V/1,5 A, TO–220)	100
LM318 (gyors op. amp.)	300
LM324 (4-es op. amp.) - 4 db	200
LM329 (6,9 V-os söntszab.) kifogyott	200
LM331 (prezíziós u/f átalakító)	350
LM338T (szabályozható stab. +1,2...32 V/5 A, TO–220)	490
LM339 (4-es komparátor) - 3 db	200
LM386M1 SMD (HF véger.)	100
LM386N-1 (HF végerősítő, DIP8)	150
LM3914N-1 LED meghajtó IC	490
LM393 (duál komparátor, DIP-8) 4 db	200
LM78L12ACZ (+12 V/0,1 A stab., gründolt) - 2 db	100
LMC555CN (CMOS 555-ös, 8-lábú, plasztik) - 2 db	200
M51397AP	290
MA3005 (=CA3005, 0 ... 120 MHz AGC-zhető KF erősítő)	150
MAA501 (~µA709, TO-67, military op. amp.)	100
MAA748 (=uA748)	200
MAS560 (4 csat. szenzor) - 4 db	100
MB501LP (1,1 GHz-es 64/65, 128/129 előosztó)	990
MC44BS374CA (PAL/NTSC tv-adó I2C vez., UHF 26...68 csat., SO16)	490
MC14069UB (CMOS hexinv.) - 4 db	200
MC145413P (imp./DTMF tárcsázó)	250
MC1458 (duál op. amp., DIP8) - 2 db	100
MC2831AP (NBFM-adó)	290
MC33164 (Reset IC, bontott) - 4 db	190
MC3362P (NBFM vevő 200 MHz-ig)	990
MC34115 (CVSD mod/demod.) - 2 db	490
MC78T05CT (5 V/3 A stab., TO-220)	200
MM58348 (nagyfesz. kijelzővezérlő)	290
NE5532 (kiszajú, duál op.amp.) - 2 db	200
NE555 (timer) - 2 db	100
OPA2604A (BB)	990
SA612 (=NE612, kétsz. kiegy. Kev. + oszc.)	790
SAA1350 (ITT)	590
SAA1351 (ITT)	590
SAA5012 (ITT)	590
SAS6700 (4-es szenzor vez.) - 3 db	100
SSM2166 (intelligens mikrofoner.)	1 990
TAA691 (FM KF erősítő és demod . + HF-előer.) - 2 db	100
TBA120S3 (FM KF erősítő és demod. + HF-előer.) - 2 db	100
TBA222 (=µA741 military) - 4 db	200
TBA800 (HF végerősítő)	200
TCA740	990
TDA1053 (PIN-diódás csillapító)	300
TDA1060 vagy B260D (kapcs. táp.)	490
TDA1072A (AM rádióvevő)	350
TDA1151 (magnómotor vezérlő, HE ´91/3.) - 2 db	100
TDA1220B (AM-FM rádióvevő)	490
TDA1524 (sztereó hangszín/hangerő szabályozó)	990
TDA1589 (KIRA dekóder) - 3 db	100
TDA2003 (10 W-os HIFI véger.)	200
TDA2030 (14 W-os HIFI véger.)	150
TDA3420 (duál, nagyon kis zajú bemeneti erősítő) - 3 db	200
TDA7294 (100 W, HIFI véger.) - 2 db	1 900
TDA7297 (2x15 W-os HIFI véger.)	490
TDB0137SP (=LM3375SP, –1,2 V...–37 V/1,5 A szab. stab.)	200
TDD1618S (~µA7818, +18 V/0,5 A stab. IC, Ube max = 26 V) - 3 db	200
TL062 (BiFET duál op. amp.) - 3 db	250
TL072 (kis zajú BiFET duál op. amp.)	100
TL074 (BiFET quad op. amp.) - 2 db	200
TL080 v. W080D (BiFET op.amp.) - 3 db	100
TL431 (2,5...36 V-os progr. Band-gap ref., HE ´01/2.) - 3 db	200
TL494CN (PWM IC)	200
TMP47C834N (mikrovezérlő tv-be)	1490
TS358CD - 3 db	100
TTL digitális IC egységcsomag (50 db vegyes IC)	990
U2343B (TFK, sztereodekóder) - 2 db	100
UA3065 (FM–KF) - 2 db	100
UA711 (duál komp., 2 × uA710)	100
UA715 (gyors op. amp.)	100
UA723 (stabilizátor)	300
UA777DC (prec. op. amp.)	150
UL1042 (=S042P, kétszeresen kiegy. kev. + oszc.)	790
UM3562 (hangeffekt generátor)	990
V40511D (7 szegm. LED-meghajtó, közöskatódos, VQE13-hoz jó)	100

Megvásárolhatók személyesen a szerkesztőségben:
Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09-14 ó., csüt.: 09-17 ó. Vagy postán, rendelésre: 239-4932/36 m. 239-4933/36 m. 1550 Bp. Pf. 123. hambazar@radiovilag.hu
Minimális postai ALKATRÉSZ-rendelés: 3 000 Ft + postaköltség!

é k 2 1 4

NanoVNA – a kicsi, príma és olcsó

Dr. Tolnai János okl. híradástechnikai szakmérnök, HA5LQ@freemail.hu

Az RT – az irodalomjegyzékben felsorolt – számaiban megjelent cikkeiben HA5GN kimerítően tárgyalja a VNA (Vector Network Analyser) felhasználhatóságát, az azzal elvégezhető mérések sokféleségét, valamint összehasonlítja a cikk megjelenésekor hozzáférhető, amatőr célra készült VNA-k paramétereit. HA5HU pedig (a NanoVNA által – egyebek mellett – megjeleníthető) „Smith diagram" gyakorlati felhasználását könnyítő program működését mutatja be. E cikkben egy tenyérben elférő, érintőképernyős, beépített akkumulátorról is üzemelő, és nem utolsósorban igen olcsó műszer: a „NanoVNA" ismertetése előtt röviden összefoglalom a mért paraméterek értelmezését, részletesebben kitérve arra, miért ilyen a „Smith diagram".

1. Néhány paraméter értelmezése

1.1. Reflexiós tényező

Egy kábel bemenetére egyenfeszültséget kapcsolva, az közel fénysebességgel halad a vezeték vége felé. Azonban ameddig a kábel végéhez nem érkezik meg (és ez után a lezárásról érkező információ a generátorhoz nem érkezik vissza), a kábel a generátor számára végtelen hosszúnak látszik, így terhelésként a végtelen hosszú vezeték bemenőimpedanciáját „látja". Ez – definíció szerint – a *kábel hullámellenállása*.

Így a generátor a kábelen a hullámellenállásának megfelelő feszültséget és áramot indít meg. Ha a kábel hullámellenállása megegyezik a generátor belsőellenállásával (azaz illesztve van), ez a feszültség a generátor forrásfeszültségének fele, a kialakuló áram pedig ennek, és a vezeték hullámellenállásának a hányadosa.

Amennyiben kábel lezárása is illesztett (a terhelőellenállás is azonos a kábel hullámellenállásával), a kábel kimenetén megjelenő feszültség a terhelésen pontosan az érkező áramot hajtja át, ezért a kialakult feszültség és áram véglegessé válik.

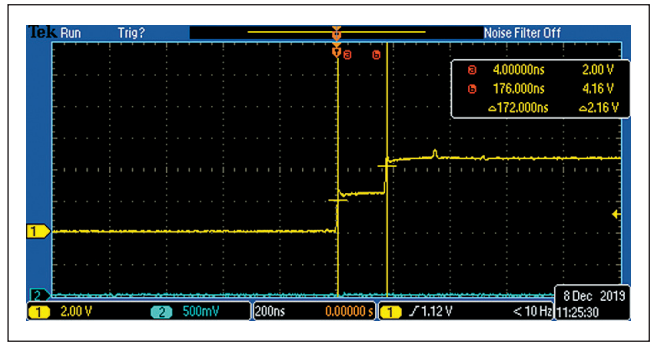
Ha azonban a kábel végét pl. szakadás zárja le, az áramkörben csak 0 áram állandósulhat, a generátor belsőellenállásán nem esik feszültség és kapocsfeszültsége az előbbi kétszeresére nő. Ez akként valósul meg, hogy a feszültség és az áram is a kábel végéről visszaverődnek. Ez a jelenség a *reflexió*. Szakadás lezárásnál a teljes beérkező áram ellenkező, a teljes beérkező feszültség pedig azonos polaritással verődik vissza, ezek eredőjeként alakul ki a 0 áram és kétszeres feszültség. A reflektált jelek ugyancsak közel a fény sebességével haladnak a generátor felé. A végleges állapot akkor alakul ki, amikor a visszavert jelek a generátorhoz megérkeznek. (Ez a folyamat itt az ún. bekapcsolási tranziens.)

Ha a kábel végén rövidzár van, szintén teljes reflexió jön létre, de most a feszültség verődik vissza fordított, az áram pedig azonos polaritással, így alakul ki a végleges 0 feszültség és az érkező áram kétszerese.

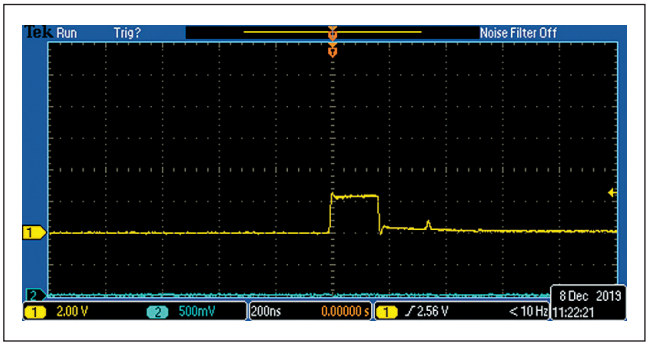
Ha a lezárás nem szakadás vagy rövidzár, de nem egyezik meg a kábel hullámellenállásával, akkor a végleges helyzet úgy alakul ki, hogy az áramnak és feszültségnek csak (a lezárástól függő) része verődik vissza.

Mindez oszcilloszkópon is nyomon követhető (és ha a kábel végéről reflektálódik jel, a kábel hossza – vagy ha a kábelen lévő szakadásról, rövidzárról reflektálódik, a kábelhiba helye – is meghatározható). Pl. az RG58 C/U típusú kábel hullámellenállása 50 ohm, rövidülési tényezője 0,66. Az **1. ábrán** látható hosszú, karikába feltekert kábel bemenetére a feszültségforrás 50 ohmos soros ellenállással kapcsolódik, a kábel végén szakadás van. A feszültség bekapcsolásakor a kábel bemenetén mérhető jelet a **2. ábra** mutatja. A bekapcsolás pillanatában a kábel hullámellenállása terheli a generátort, ezért a kábel bemenetén a forrásfeszültség fele (az ábra szerint 2,00 V) jelenik meg. A visszavert jel 172 ns elteltével érkezik meg, ekkor alakul ki a kábel bemenetén a

1. ábra



2. ábra



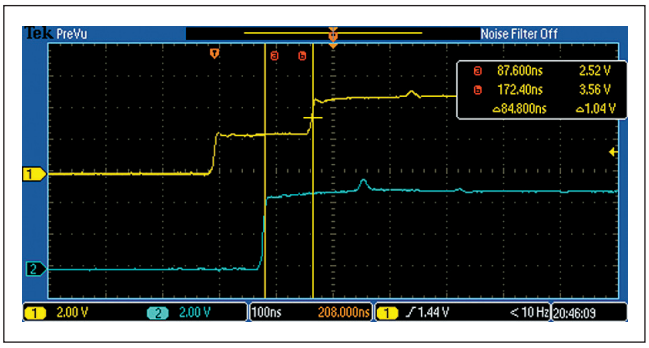
3. ábra

végleges, 4,16 V-os feszültség. (A két feszültség között azért nem pontosan kétszeres a viszony, mert a méréskor a generátorral sorba kapcsolt ellenállás ténylegesen 47 ohm volt, amely nem teljesen egyezik a kábel hullámellenállásával, ezért a kábel bemenetén is kismértékű reflexió jött létre. Így a generátor felől reflektálódott feszültség ismét a kábel vége felé indult, majd onnan visszaverődött. Ezt mutatják az „a" jelzővonalnál látható, és a „b" jelzővonalat követő 172 ns-enként megjelenő, csökkenő amplitúdójú tüskék.) A mért 172 ns a jel oda-vissza haladásának ideje. A fény terjedési sebessége 300 000 km/s, a kábelben rövidülési tényezője miatt 0,66·300 000 km/s = 200 000 km/s = 0,2 m/ns. A kábel kétszeres hossza tehát 172·0,2 m = 34,4 m, a kábelhossz ennek a fele, 17,2 m.

Ugyanennek a kábelnek a végét rövidre zárva, a fent leírtak szerint a kábel bemenetén a feszültség a **3. ábra** szerint alakul.

A **4. ábra** egyszerre mutatja a szakadással lezárt kábel bemenetén (sárga csatorna), és kimenetén (kék csatorna) mért feszültséget. (A vízszintes eltérítés a 2. és a 3. ábrán 200 ns/div, a 4. ábrán 100 ns/div.)

Amennyiben a kábel bemenetére nem egyenfeszültséget, hanem szinuszjelet szolgáltató generátort kapcsolunk, úgy a generátorból folyamatosan indul a terhelés felé a kábel hullámellenállásának megfelelő feszültség és áram. Ez a „haladó" jel. Ha ugyanekkor a kábel kimenete nincs illesztetten lezárva, a kábelvégről is folyamatosan indul a generátor felé a „visszavert" szinuszjel. A vezetéken egyidejűleg, ellentétes irányban haladó, azonos frekvenciájú, de különböző amplitúdójú szinuszjelek egymásra szuperponálódnak, így a kábel egyes helyein erősítik, más helyein gyengítik (teljes visszaverődés esetén kioltják) egymást. Ennek eredményeként a kábelen „állóhullámok" alakulnak ki, azaz a kábel különböző pontjain (a vezeték mentén szinuszos „hullám" burkolóval) különbözik a jel amplitúdója.



4. ábra

Ha nincs reflexió (ez a kívánatos állapot), állóhullámok sem keletkeznek, a kábelen csak haladó hullámok tartanak a terhelés felé, amely azokat teljes mértékben disszipálja.

A reflexió mértékét a *reflexiós tényező* fejezi ki, melynek jele Γ (gamma). Ez a haladó és visszavert feszültség hányadosa:

$$\Gamma = U_{\text{reflektált}}/U_{\text{haladó}}\,, \qquad (1)$$

amelynek értéke tisztán hatásos terhelés esetén a 0…1 tartományba esik (illesztett lezárásnál 0, teljes visszaverődésnél 1). Ha a terhelésnek reaktáns komponense is van, akkor Γ komplex szám, melynek abszolút értéke esik a 0…1 közé.

1.2. Állóhullámarány

Az *állóhullámarány* (SWR = *S*tanding *W*ave *R*atio, vagy VSWR = *V*oltage *SWR*) a kábelen megjelenő maximális és minimális amplitúdójú feszültség hányadosa. A jel ott maximális, ahol a haladó és visszavert jelek összeadódnak, és ott minimális, ahol egymásból kivonódnak:

$$SWR = \frac{U_{haladó} + U_{reflektált}}{U_{haladó} - U_{reflektált}} = \frac{1 + \frac{U_{reflektált}}{U_{haladó}}}{1 - \frac{U_{reflektált}}{U_{haladó}}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \cdot \qquad (2)$$

Ha a generátor üresjárási feszültsége U_g, és R_g, a belsőellenállása megegyezik a kábel Z_0 hullámellenállásával, a kábel végét lezáró ellenállás pedig R_t, (és ha a kábelen nem esik feszültség, azaz veszteségmentes), akkor illesztett lezáráskor ($R_t = R_g$), a terhelésen eső U_t megegyezik a generátor által indított

$$U_t = U_{haladó} = \frac{U_g}{2} \qquad (3)$$

feszültséggel, illesztetlen lezárás esetén pedig

$$U_t = U_g \frac{R_t}{R_t + R_g} \cdot \qquad (4)$$

Ilyenkor van reflexió. A visszavert feszültség a beérkező „haladó", és a lezáráson maradó feszültség különbsége:

$$U_{reflektált} = \frac{U_g}{2} - U_g \frac{R_t}{R_t + R_g} \cdot \qquad (5)$$

Az így megadott haladó és a reflektált feszültséget Γ, illetve SWR képletébe behelyettesítve, és az egyenletet rendezve $R_t > R_g$ esetén

$$SWR = \frac{R_t}{R_g} = \frac{R_t}{Z_0}\,, \qquad (6)$$

ha pedig $R_g > R_t$, akkor

$$SWR = \frac{R_g}{R_t} = \frac{Z_0}{R_t} \qquad (7)$$

eredmény adódik.

Az állóhullámarány értéke illesztett lezáráskor 1, teljes visszaverődés esetén ∞.

1.3. Visszaverődési veszteség

A visszaverődési veszteség (RL = *R*eturn *L*oss) a betáplált teljesítmény ($P_{be} = U_{haladó}^2/Z_0$) és a visszavert teljesít-

mény ($P_{refl} = U_{reflektált}^2/Z_0$) hányadosa ($Z_0$ a kábel hullámellenállása):

$$RL = \frac{P_{be}}{P_{refl}} = \frac{U_{haladó}^2/Z_0}{U_{reflektált}^2/Z_0} = \frac{U_{haladó}^2}{U_{reflektált}^2} = \frac{1}{\Gamma^2} \cdot \quad (8)$$

A gyakorlatban általában dB-ben fejezik ki, azaz tízes alapú logaritmusával jellemzik:

$$RL = 10\ lg \frac{P_{be}}{P_{refl}} = 10\ lg\ \frac{U_{haladó}^2}{U_{reflektált}^2} = \\ = 20\ lg\ \frac{U_{haladó}}{U_{reflektált}} = 20\ lg \frac{1}{\Gamma} = -20\ lg\Gamma. \quad (9)$$

Illesztett lezáráskor ($\Gamma = 0$): RL = +∞ dB, teljes visszaverődésnél ($\Gamma = 1$): RL = 0 dB.

1.4. S-paraméterek

Mikrohullámú hálózatok tulajdonságainak leírásánál nem feltételezhetünk rödzárat vagy szakadást, így **h**, **z**, **y** paraméterek helyett **s** (scattering, szórás) paramétereket használunk. Alkalmazásuk az optikából ered; ha pl. egy lencsére fényt vetítenek, annak egy része visszaverődik (s11), másik része áthalad rajta (s21). Hasonló átviteli közegnek tekinthető a vizsgálandó négypólus is.

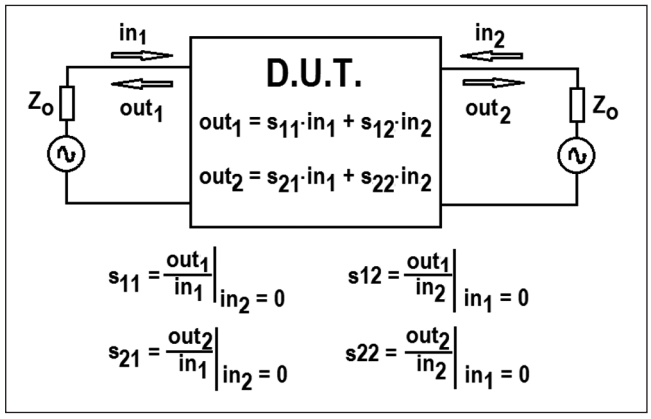
Az **s** paraméterek pozitív és negatív irányban haladó feszültség (áram, teljesítmény) -hullámok alapján fejezik ki a négypólus tulajdonságait. Alkalmazásuk előnye, hogy hálózatanalizátorral közvetlenül mérhetők, és azokból a hálózat további adatai kiszámíthatók.

A paraméterek értelmezése **5. ábra** alapján:

s11 = bemeneti feszültségreflexiós tényező,
s12 = feszültségvisszahatás,
s21 = feszültségerősítés,
s22 = kimeneti feszültségreflexiós tényező.

A hálózatok különféle tulajdonságai a következőképpen adhatók meg s paraméterekkel:
A visszaverődési veszteség (*R*eturn *L*oss = RL):

$RL_{be} = -20$ lg $|s11|$, dB;
$RL_{ki} = -20$ lg $|s22|$, dB.



5. ábra

Az állóhullámarány:
VSWR = (1+ |s11|)/(1– |s11|).

1.5. Smith diagram

Γ reflexiós tényező (1) képletébe (3) és (5) behelyettesítésével és az egyenletet rendezve (a továbbiakban – mivel a lezáró impedanciáknak reaktáns komponense is lehet – R ellenállások helyett Z impedanciákkal számolunk):

$$\Gamma = (Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0)$$

egyenlőség adódik. Ebből:

a: ha $Z_L = 0$, akkor $\Gamma = -Z_0/Z_0 = -1$,
b: ha $Z_L = \infty$, akkor $\Gamma = 1$,
c: ha $Z_L = Z_0$, akkor $\Gamma = 0/2Z_0 = 0$,

tehát Γ értéke $Z_L = 0 \ldots \infty$ értékei mellett −1 …+1 lehet. Ténylegesen Z értékei (ha van reaktáns komponensük), és így a hányadosuk is komplex számok lehetnek, ebből következően általában Γ is komplex szám: $|\Gamma| \leq 1$.

Γ komplex értéke a *Smith diagramon* ábrázolható. A diagram univerzális használhatósága érdekében normalizált Z_N impedanciákkal dolgozik, amely a terhelés (Z_L) és a hullámimpedancia (Z_0) hányadosa. Ez általános esetben olyan komplex szám, melynek valós része *r*, képzetes része *X*:

$$Z_N = Z_L/Z_0 = r + jX.$$

Ennek bevezetésével a reflexiós tényező (Γ):

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{\frac{Z_L}{Z_0} - 1}{\frac{Z_L}{Z_0} + 1} = \frac{Z_N - 1}{Z_N + 1} = \frac{r + jX - 1}{r + jX + 1} = \ldots \\ \ldots = \frac{r^2 - 1 + X^2}{(r+1)^2 + X^2} + j\frac{2X}{(r+1)^2 + X^2} = \mathrm{Re}(\Gamma) + j\ \mathrm{Im}(\Gamma). \quad (10)$$

Az egyenlet rendezésével a következő eredmények adódnak:

$$\left(Re(\Gamma) - \frac{r}{r+1}\right)^2 + Im\ (\Gamma) = \left(\frac{1}{r+1}\right)^2. \quad (11)$$

Ez egy kör egyenlete, melynek középpontja: [r/(r+1), 0], sugara: 1/(r+1). Ez a kör azoknak a Re(Γ) és Im(Γ) értékeknek a mértani helye, amelyek adott „r" (azaz normalizált impedancia valós rész) esetén összetartozhatnak.

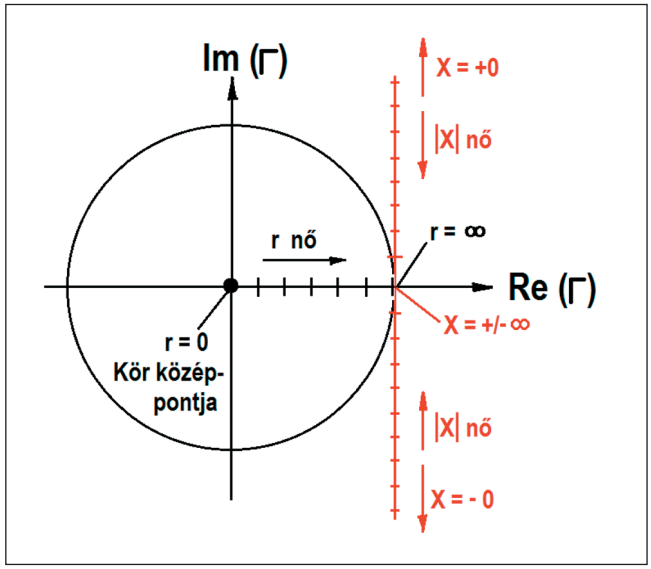
$$(Re(\Gamma) - 1)^2 + (Im\ (\Gamma) - \tfrac{1}{X})\ = \left(\tfrac{1}{X}\right)^2. \quad (12)$$

Ez szintén egy kör egyenlete, melynek középpontja: [1, 1/X], sugara: 1/ |X |. Ez a kör azoknak a Re(Γ) és Im(Γ) értékeknek a mértani helye, amelyek adott „X" (azaz normalizált impedancia képzetes rész) esetén összetartozhatnak.

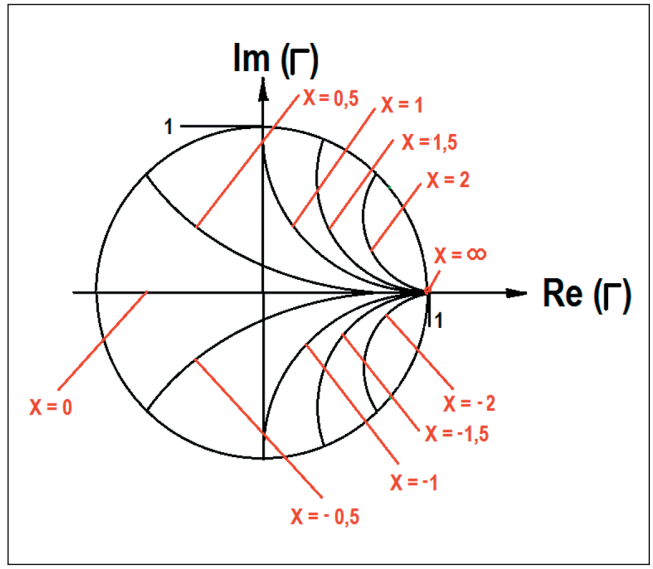
A Smith-diagram a két egyenlet által leírt körök gyűjteménye, a $0 \leq r \leq \infty$; illetve $-\infty < X < +\infty$ értéktartományban. Γ aktuális értékét a Smith-diagramon az adott „r" és „X" értékekhez tartozó körök metszéspontja adja. A reflexiós tényező értéktartománya: $|\Gamma| \leq 1$.

A Γ ábrán ezek a körök a következők szerint alakulnak (**6. ábra**):
Ha r = 0, akkor a hozzá tartozó kör középpontja:

[r/(r+1),0] = [0,0], sugara: 1/(r+1) = 1.



6. ábra



8. ábra

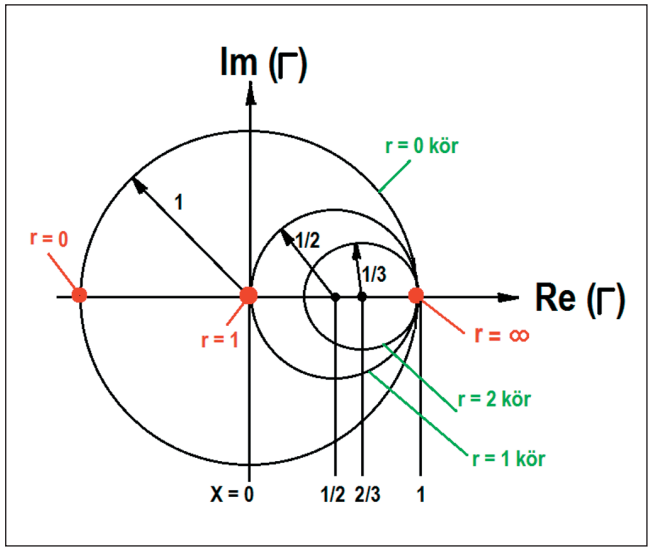
Az r = 0 kör középpontja két tengely metszéspontjában van, sugara 1. Az „r” értékének növekedésével a hozzá tartozó kör középpontja a Re(Γ) tengelyen jobbra tolódik. Az r = ∝ értékhez tartozó kör középpontja [1,0], sugara 0 (tehát a kör minden pontja az [1,0] pontban található.

X értéke az [1,0] pontban szintén ∝. A Re(Γ) tengelytől induktív X esetén pozitív irányban távolodva X értéke csökken, hasonlóképpen kapacitív terheléskor X értéke a Re(Γ) tengelytől negatív irányban távolodva csökken.

A (11) egyenlet alapján szerkesztett néhány, normalizált rezisztív terhelésekre vonatkozó kört mutat a **7. ábra**. Az r = 0-nak megfelelő kör középpontja [0,0] és a sugara 1, ez a legnagyobb kör.

– Ha r = 1, akkor a kör középpontja [1/2,0] és a sugara 1/2,
– ha r = 2, akkor a kör középpontja [2/3,0] és a sugara 1/3,
– ha r = ∝, akkor a kör középpontja [1,0] és a sugara 0.

A (10) egyenlet szerint a $Re(\Gamma) = [(r-1)^2+X^2]/[(r+1)^2+X^2]$. Ha r = 0, és *nincs képzetes rész* (X = 0), akkor az egyenletbe helyettesítve Re(Γ) = −1/1 = −1, tehát „ohmos” 0 terhelés-



7. ábra

kor (= rövidzár) Γ= −1 (a 7. ábrán r = 0 ponttal jelölve). Ha viszont r = ∝, az egyenletbe helyettesítve Γ = 1, mint a kör jobb oldalán az r = ∝ pont mutatja. Ha r = 1 (= illesztett lezárás), a képletbe helyettesítve Re(Γ) = 0, a tengelyek metszéspontja.

A (12) egyenlet alapján Γ reaktáns része ugyancsak köröket határoz meg. Itt Γ olyan kört ír le, amelynek középpontja [1,1/X], sugara: 1/ |X |.

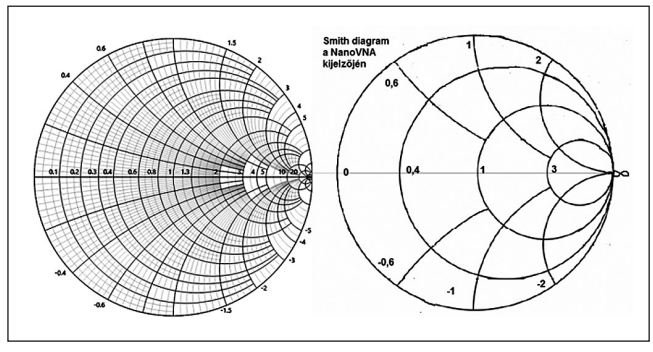
A **8. ábrán** látható, hogy az X = ∝ kör középpontja [1,0], sugara 0. Ha X = 1, középpontja [1,1], sugara 1, míg ha X = 0, akkor a középpontja [1,∝], sugara ∝.

A Smith-diagram **(9. ábra)** egyesíti ezt a két ábrát. Γ értékét az adott (relatív) rezisztív, és X reaktáns részhez tartozó körök metszéspontja adja. Gafikusan ábrázolja, hogy miként változnak a mért áramkör ezen tényezői pl. a frekvencia változásakor. A Z = x+jy = $|Z|\,e^{j\varphi}$ összefüggés mutatja, hogy Z frekvencia függvényében való változása a Re(Γ) = Im(Γ) = 0 pont körüli szögelfordulást jelent (**10. ábra**, zöld csatorna). A NanoVNA kijelzőjén a 9. ábra jobb oldali, egyszerűsített Smith diagramja rajzolódik ki.

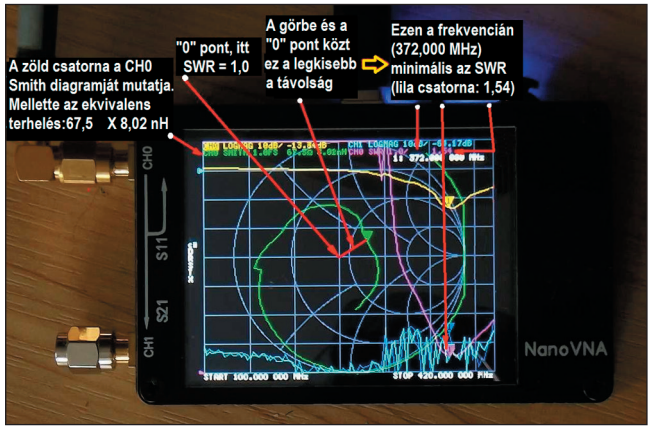
2. A NanoVNA áttekintése

2.1. Felépítés

A NanoVNA (**11. ábra**) valóban „nano” méretű (csatlakozók és kapcsolókarok nélkül 55×85×14 mm-es), az



9. ábra



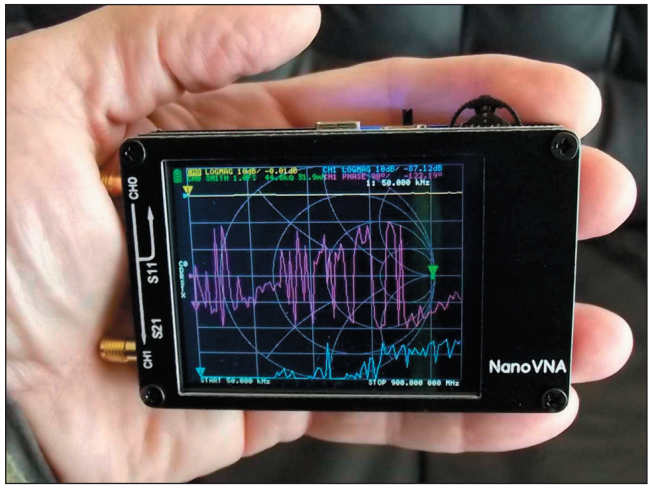
10. ábra

50 kHz…900 MHz frekvenciatartományban működő vektor-hálózatanalizátor. *CH 0* kimeneten ténylegesen legfeljebb 300 MHz-es négyszögjel jelenik meg (mérési tartomány dinamikája: 70 dB), magasabb frekvenciákon ennek páratlan harmonikusaival végzi a mérést (300…600 MHz: 50 dB, 600…900 MHz: 40 dB dinamikával; az alapharmonikust nem nyomják el.) A mérések a beállított frekvenciahatárok között 101 diszkrét mérési pontban történnek.

A műszer egyetlen nyáklapra épült, mely alatt és felett árnyékolást biztosító fémlapok képezik a doboz alját és tetejét. Ezeket a négy sarokban elhelyezett távtartókhoz csavarok rögzítik. (A 71 mm-es átlójú, 320×240 pixeles TFT kijelző védőfóliája csak a felső lap levétele után távolítható el.) A készülék az oldalai felől nyitott, tehát mechanikailag is „minimál konstrukció”.

A NanoVNA-t gyakran a beépíthető 400 mAh-s lítium akkumulátor nélkül szállítják (ezért beszerzéskor nem árt meggyőződni arról, hogy akkuval hirdetik-e). Az akkumulátorral szerelt példányok kijelzőjének bal felső sarkában az akku töltöttségét mutató zöld ikon jelenik meg (ilyen látható a 11. ábrán is, míg a 10. ábra akku nélküli példányt mutat).

Ha az akkumulátor be van építve, annak, és az érintőképernyős kijelzőnek ill. a többfunkciós vezérlőgombnak köszönhetően önállóan (pl. közvetlenül az antenna talppontjánál), számítógéppel való kapcsolat nélkül is működtethető.



11. ábra

Számítógéppel USB 3.0 típusú csatlakozóján keresztül köthető össze. A netről letölthető, több féle hozzá tartozó szoftverrel is elvégezhetők a beállításai, ill. az eredmények a számítógép képernyőjén grafikusan is megjeleníthetők. Pl. a *NanoVNA Saver* különböző tervező és szimulációs programok által használt „Touchtone” (smt) fájlokat is tud generálni.

Az akkumulátor töltése, ill. a készülék működtetése az USB portról történik. Az áramfelvétel a leírás szerint 120 mA (mérésem szerint inkább 40…80 mA, nyilván az akku töltöttségétől függ).

A NanoVNA a https://twitter.com/edy555 oldalon bemutatott „edy555” továbbfejlesztett változata. Nyílt forráskódú projekt, bárki szabadon felhasználhatja, továbbfejlesztheti.

A firmware folyamatosan fejlesztés alatt áll, az aktuális verziók letölthetők a https://oristopo.github.io/nVhelp/ oldal alapján.

2.2. Működés

A műszer *CH 0* kimenetén a beállított frekvenciasávot pásztázó RF feszültség jelenik meg, mely a terhelésre SMA csatlakozón keresztül jut.

Kétpólus mérésénél a NanoVNA méri a *CH 0* kimenetre kapcsolt terhelés impedanciáját (abszolút értékét és fázisát), valamint az állóhullámarányt.

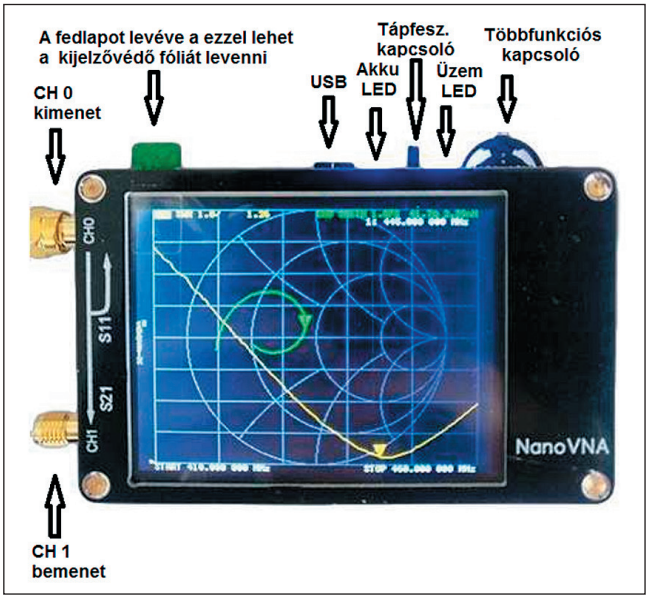
Négypólus mérésekor annak kimenőjele szintén SMA csatlakozón keresztül érkezik a *CH 1* bemenetre. A műszer méri e feszültségnek a *CH 0* kimeneten megjelenő feszültséghez viszonyított amplitúdóját és fázisát.

A mérési eredmények a következő formákban jeleníthetők meg (az egyenlőségjel után az adott paraméter méréséhez a műszeren beállítandó üzemmód neve látható; a szoftver fejlesztésével újabb üzemmódok válhatnak használhatóvá):

– s11 (Smith-diagram) = „CH 0 SMITH”
– s11 (VSWR/f) = „CH 0 SWR”
– s11 (RL visszaverődési csillapítás dB/f) = „CH 0 LOGMAG”
– s11 (R+jX)/f ⇨ csak számítógépes szoftverrel
– s11 (fázis °/f) = „CH 0 PHASE”
– s21 (polárdiagram) = „CH 1 POLAR”
– s21 (Gain erősítés, dB/f) = „CH 1 LOGMAG”
– s21 (fázis °/f) = „CH 1 PHASE”
– TDR (*T*ime *D*omain *R*eflectometry, vezeték hossza, cm); csak számítógépes szoftverrel.

A kijelzőn egyidejűleg 1…4 (különböző színű) mérési-eredmény-görbe jeleníthető meg. Ezek megnevezése a kijelző felső részén, a görbével azonos színnel íródik ki. A mért paraméter neve mellett az utolsóként változtatott marker által kijelölt frekvencián mért értéke is leolvasható. Összesen 4, számozott marker kapcsolható be. Ezek minden kijelzett paraméternél annak görbéjét érintő lefelé mutató háromszög formájában, a görbével egyező színnel jelennek meg. A kijelző jobb felső részén, a kijelzett paraméterek és értékeik alatt az utoljára állított marker pontos frekvenciája, az alatt pedig ennek az utolsó előtt állított marker által kijelölt frekvenciától való eltérése láthatók.

A rendszer hullámellenállása 50 Ω. Reflexiómérés csak a *CH 0* kimeneten van, így csak az áramkör s11 és s21 paraméterei mérhetők. Azonban az áramkör (DUT = *D*evice *U*nder *T*est) be- és kimenetének felcserélésével s12 és s22 ugyanígy



12. ábra

meghatározható, bár így a mérés áramköri bizonytalanságok miatt általában csak a rövidhullámú sávokon tekinthető megfelelő pontosságúnak.

A pásztázott frekvenciák határai akár a minimális (START) és maximális (STOP) frekvencia, akár a sávközépi frekvencia (CENTER) és az ettől +/- irányban maximális eltérés (SPAN) kijelölésével állíthatók be. A beállított frekvenciahatárok a kijelző alján, bal oldalon a START (vagy CENTER), jobb oldalon a STOP (vagy SPAN) felirat mellett jelennek meg.

A kalibrációs beállítások közül 5 (beleértve a frekvenciatartományt és a kijelzendő adatokat is) a 0…4 számozott, nem felejtő memóriába tölthető, ill. a mérés kezdetekor előhívható. Bekapcsoláskor a „0” memória tartalma töltődik be, amely első bekapcsoláskor a gyári beállítás szerint a teljes működési frekvenciatartomány (50 kHz…900 MHz), *CH 0 LOGMAG, CH 0 SMITH, CH 1 LOGMAG és CH 1 PHASE, 1* markerrel.

Műszaki adatok:

f = 500 kHz … 900 MHz; pontosság: ±0,5 ppm
CH 1 bemenet SWR≤1,1
CH 0 kimenőszint-**táblázat** (saját mérés):

f, MHz	dBu	dBm
1	95	-12
10		
50	94	-13
100		
200	92	-15
300	89	-18
400	88	-19
500		
600		
700	86	-21
800	84	-23
900		

Táblázat

A NanoVNA készlet tartalma:

– 1 db NanoVNA (3,7 V/400 mAh-s, 20×35×6 mm-es, „602035” beépített akkumulátorral, K1-1502SA típ. többirányú kapcsolóval (nyomás: menü; oldalt: értékválasztás)
– 2 db azonos (30 cm) hosszúságú RG174 50 Ω-os SMA papa – SMA papa kábel
– 3 db SMA papa lezárás: 50 Ω; szakadás; rövidzár
– 1 db SMA mama – SMA mama átmenet
– 1 db USB C – USB A kábel
– 1 db műanyag tárolódoboz

2.3. Kezelőszervek

A **12. ábra** a műszer előlapja felől nézve mutatja a kezelőszerveket, csatlakozókat. Az akkumulátor töltése közben az *AKKU* LED villog, feltöltött akkunál folyamatosan világít. Kisütéskor a LED folyamatosan világít, alacsony akkufeszültségnél villog. Az USB-n kapott tápfeszültség megszűnése után a LED még kb. 40 s-ig világít. (Az akku nélküli példányoknál az *AKKU* LED a tápfeszültség jelenlétekor villog, megszűnésekor kialszik.) Az *Üzem* LED a VNA bekapcsolt állapotában világít.

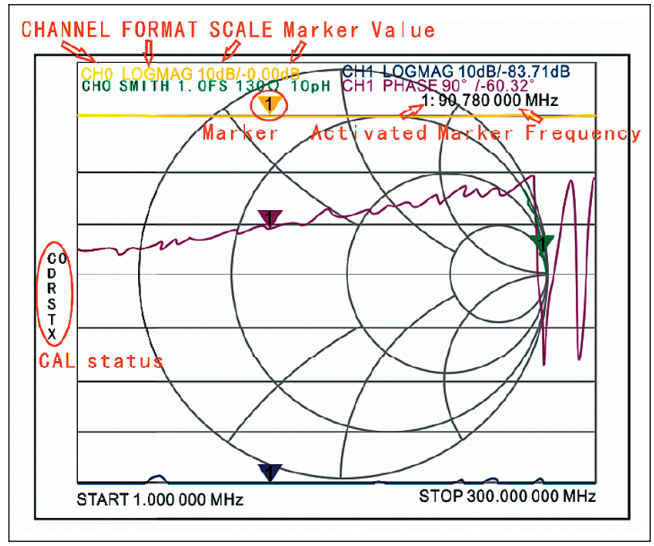
Az USB csatlakozót számítógéppel összekötve a beállítások és a kiolvasás szoftverrel is elvégezhető. Pl. a *NanoVNA Saver 0.1.3* vezérlő szoftver kiolvassa és megjeleníti az „Áttekintés”-ben felsorolt lehetőségek közül a kijelezni kívánt 4 paramétert.

Az első USB-csatlakozáskor a WIN7 maga installálja a soros portot beállító szoftvert. A hozzárendelt portot pl. a NanoVNA Saver 0.1.3 szoftver automatikusan ismeri fel. E szoftverben a NanoVNA kiolvasása (ha már csatlakozik, a „Disconnect” gomb előzetes megnyomása után megjelenő) „Connect” gomb lenyomásával történik.

2.3. Kijelző

A **13. ábrán** látható kijelzőn felül a megjelenítés színével 4 be- vagy kikapcsolható csatorna jelenik (vagy nem jelenik) meg. Beállítható, hogy melyik csatorna melyik paramétert mutassa. (Első bekapcsoláskor a bal oldali két csatorna *CH 0* kimenethez, a jobb oldali két csatorna *CH 1* bemenethez van beállítva.)

A lefelé mutató nyilakkal jelzett markerek helyzete (azaz a pillanatnyi frekvencia) akár az érintőképernyőn, akár a többfunkciós gombbal jobbra-balra állítható. A kijelzőn felül az egyes csatornákon választott paraméterek mellett a skála osztása, és az adott paraméternek az utoljára változtatott marker frekvenciáján mért értéke látható. (Pl. a 13. ábrán a sárga *CH 0 LOGMAG* skálája 10 dB/DIV, érté-



13. ábra

ke a marker frekvenciáján 0,00 dB.) Az aktív (utoljára változtatott) marker pontos frekvenciája (az ábrán 90,780000 MHz) ezek alatt, jobb oldalon olvasható le. Alatta (több marker használata esetén) egy rombusz jel után az utolsó előtt állított marker frekvenciájának az aktív marker által kijelölt frekvenciától való eltérése is kiíródik.

Magán a NanoVNA-n a kijelzés vezérlése az érintőképernyővel, ill. a többfunkciós kapcsolóval történhet. A kapcsoló megnyomásával a menük között lehet lépkedni, oldalirányú mozgatásával a menüpontok közötti választás, illetve a kiválasztott paraméter tulajdonságai állíthatók. A műszeren kijelölt és kijelzett értékek függetlenek a szoftverrel a számítógépen kijelölt és kijelzett paraméterektől, de pl. a *NanoVNA Saver 0.1.3* szoftver „Connect” megnyomásakor a frekvenciahatárok a műszer kijelzőjén is a szoftveren beállított értékekre állnak át.

A kijelző bal oldalán a kalibráció állapotára utaló karakterek egymás alatt láthatók. Ha nem történt érvényes kalibráció, akkor a *C* nem jelenik meg. *C** jelzi, ha a kalibrálás megtörtént, de nem került rögzítésre valamelyik memóriába, és kikapcsoláskor a kalibrációs adatok elvesznek. Ha mentett kalibrációs adatok érvényesek, *C* mellett az adatokat tároló memória száma (0…4, a 13. ábrán 0) jelenik meg. Az elmentett kalibrációs adatok nem felejtő memóriába kerülnek, tápfeszültség nélkül is megőrződnek. Gyárilag az M 0 memóriába a 13. ábrán látható mérendő paraméterek, valamint az 500 kHz…900 MHz frekvenciahatárok vannak beírva.

A *C* alatti karakterek a megjelenített kalibrációs adatok állapotát mutatják. (*D* = directivity, *R* = Reflexion Tracking, *S* = Source Mach, *T* = Transmission Tracking, *X* = Isolation.)

Ha bekapcsoláskor ezek némelyike megjelenik, de *C0* nem, azt jelzi, hogy a kalibrálást elvégezték és az adatokat rögzítették, de a CORRECTION funkció le van tiltva. Ezt a CAL menüben lehet bekapcsolni, itt engedélyezhetők vagy tilthatók az egyes kalibrációs paraméterek. Az egyes paraméterek állapotát a felső *C* be/kikapcsolódása jelzi. Ha a kalibráció sikeres, akkor a *C* mellett a memória száma (bekapcsoláskor 0), és alatta minden paraméter jele megjelenik.

3. A NanoVNA kezelése

3.1. Műterhelések

Használat előtt a készüléket a pillanatnyi körülményeknek megfelelően kalibrálni kell. A kalibrálás eredménye a *0…4* memóriába menthető; következő bootoláskor kiinduláskénti a *0* memóriában tárolt beállítások érvényesülnek. Más memória tartalma a RECALL menüből tölthető be. A kalibráláshoz a tartozék rövidzár, szakadás és az 50 Ω-os terhelés SMA kupakot (**14. ábra**) kell felhasználni. Az ezüst színű kupak az 50 Ω-os terhelés (ez két, párhuzamosan kapcsolt 100 Ω-os SMD ellenállást tartalmaz).

A korrekt kalibrációhoz a NanoVNA mindkét végéhez csatlakoztassuk a tartozék kábeleket úgy, hogy a VNA-tól egymással párhuzamosan távolodjanak (és ne kereszteződjenek)! A kalibrációt így végezve a továbbiakban a kábelvégekre kapcsolt DUT paramétereinek mérésekor a mérőkábel paraméterei nem befolyásolják a mérési eredményt.

Az így, a kábelvégeknél végzett kalibrálásnál a *négypólus-paraméterek* pontos kalibrációjához a tartozékkészlet elemein kívül még egy SMA mama–mama adapter és még egy

14. ábra

50 Ω-os SMA lezárás szükséges, de a kalibrációt ezek nélkül is el lehet végezni.

A kalibrálás előtt esetleg célszerű az ernyőn csak két mért paraméter: s11: „CH 0 LOGMAG” és s21: „CH 1 LOGMAG” kijelzését engedélyezni.

A kalibrálás elvégezhető a NanoVNA kezelőszerveivel, vagy az USB kábellel csatlakoztatott számítógépen futó vezérlő szoftverrel is.

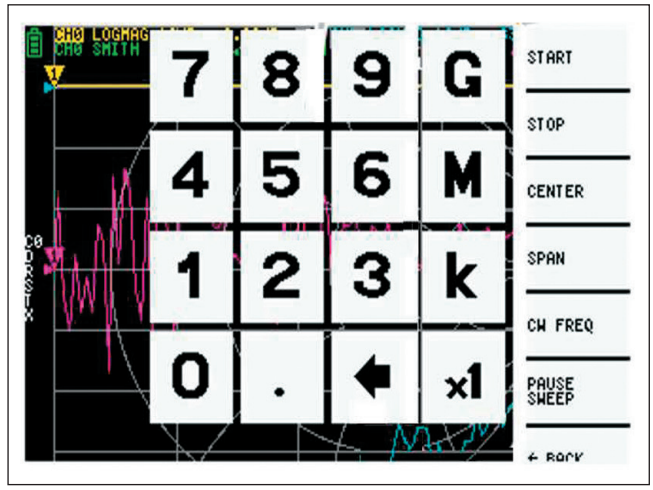
3.2. Kalibráció

A kijelző jobb oldalát megérintve megjelenik az utoljára használt menü. A főmenü kivételével a menük utolsó pontja a „Back”; ezek ismétlésével lehet az előző menübe, ill. a főmenübe visszatérni. A főmenü pontjai: DISPLAY, MARKER, STIMULUS, CAL, RECALL SAVE, CLOSE.

Célszerű a kalibrálást a vizsgálandó (minél keskenyebb) frekvenciasáv kijelölése után végezni, mivel így az azon belüli 101 mérési pont kerül kalibrálásra. Az általában használni kívánt kalibrációs adatokat az *M0* memóriába mentve a következő bekapcsoláskor automatikusan ez töltődik be.

A. A vizsgálni kívánt frekvenciasáv kijelölése:

Főmenü/**STIMULUS**
Menüpontok: START, STOP, CENTER, SPAN, CW FREQ, PAUSE SWEEP, BACK.
Vagy a „**START/STOP**”: $f_{alsó}$; $f_{felső}$ vizsgált frekvenciákat, vagy a „**CENTER/SPAN**”: Center = $(f_{alsó}+f_{felső})/2$; SPAN = $f_{felső} - f_{alsó}$ frekvenciákat kell beállítani. A START/STOP és



15. ábra

CENTER/SPAN automatikusan áll be a másik módszerrel beállított értékekre.
A beállítás kényelmes módja: a kijelző jobb alsó sarkára kattintva billentyűzet képernyő jelenik meg (**15. ábra**), melyen a kívánt számjegyek és a szorzó (x1, k, M, G) egymás után beállíthatók. (Kattintás alatt az érintőképernyő adott pontjának megérintése értendő. A kis méretekre tekintettel ehhez jó szolgálatot tehet egy, pl. a PDA-knál is használt műanyag érintőpálca használata.)
CW FREQ: Folytonosan egyetlen, beállított frekvencián mér, ill. a *CH 0* kimenet ilyen jelet ad.
PAUSE SWEEP: A frekvencialetapogatás szüneteltetése/folytatása.

B. Kalibráció

– A **CAL** választásakor megjelenő menü: CALIBRATE, RESET, CORRECTION, BACK.
*Első lépés a VNA alaphelyzetbe állítása a **RESET** megnyomásával!*
– A **CALIBRATE** megnyomása után megjelenő menü: OPEN, SHORT, LOAD, ISOLN, THRU, DONE, BACK. (Egyikük sincs valamilyen módon kiemelve.)
– A szakadás kupakot SMA mama-mama átalakító felhasználásával a *CH 0* kimenetre csatlakozó kábel végére csavarva, **OPEN** gomb megnyomásakor a mérés megtörténik. Az OPEN bevételezését a következő, SHORT gomb hátterének zöldre változása jelzi. A beállított paraméter fekete háttérben fehérré változik.
– A rövidzár kupakot az SMA mama-mama átalakító felhasználásával a *CH 0* kimenetre csatlakozó kábel végére csavarva, **SHORT** gomb megnyomása után a SHORT bevételezését a következő, LOAD gomb hátterének zöldre változása jelzi.
– Az 50 Ω-os kupakot SMA mama–mama átalakító felhasználásával a *CH 0* kimenetre csatlakozó kábel végére csavarva, **LOAD** gomb megnyomása után a LOAD bevételezését a következő, ISOLN gomb hátterének zöldre változása jelzi.
– Most a négypólus vizsgálatához szükséges paraméterek kalibrálása következik. Itt mindkét kábelvég 50 Ω-os lezárása lenne az optimális. Ez két SMA mama–mama átalakítóval, és két 50 Ω-os lezárással valósítható meg. Ha csak a tartozék egy kupak és SMA mama–mama átalakító áll rendelkezésre, azokat a *CH 1* bemenetre csatlakozó kábel végére kell csavarni (*CH 0* kábelvéget szabadon hagyva). **ISOLN** gomb megnyomása után a következő THRU háttere zöldre változik.
– A *CH 0* kimenetre és *CH 1* bemenetre kapcsolt két kábelvéget az SMA mama–mama átmenet segítségével össze kell kötni. **THRU** megnyomása után a beállítást a **DONE** gomb megnyomásával kell befejezni.
– Ellenőrzés: az előbbi állapotban (ki- és bemenet összekötve) helyes kalibráció esetén a *CH 1* LOGMAG (erősítés) vonal a frekvenciától független, 0 dB-es egyenes. A *CH 0* kimenetre csatlakozó kábel végére a szakadás lezárást csavarva a Smith-diagramon a zöld nyíl vízszintes középvonal végtelent reprezentáló jobb szélére, a kimenetre a rövidzár lezárást helyezve a diagram bal szélére, az 50 Ω-os lezárással pedig a közepére mutat. (Lezáró kupak nélkül a szakadáshoz hasonló a kijelzés.)
– Mentés: **SAVE**/**SAVE n** (n a memória száma, 0…4). A memorizálást a kijelző bal szélén *C* után megjelenő memóriaszám igazolja.

3.3. Kalibrálás USB+ szoftver segítségével

A NanoVNA saver V.0.1.3 Calibration/Calibration assistant végig vezet a fenti pontokon.

4. Beállítások

4.1. Csatorna, és azon megjelenő jel kiválasztása

Sugár kiválasztása: Főmenü: **DISPLAY**/MARKER/STIMULUS/CAL/RECALL SAVE/CLOSE
Megjelenő menü: **TRACE**/FORMAT/SCALE/CHANNEL/BACK
Megjelenő menü: TRACE 0 (sárga)/TRACE 1 (kék)/TRACE 2 (zöld)/TRACE3 (bíbor)/BACK
Az állítani kívánt sugárra kattintva
Megjelenő menü: OFF/SINGLE/**BACK**
OFF választáskor az adott csatorna kikapcsolódik
SINGLE választáskor csak az adott csatorna jele látható
BACK: visszatérés a TRACE menübe, itt ismét **BACK**: visszatérés a DISPLAY menübe (de már ki van választva a kívánt színű és számú) sugár.
Választási lehetőségek: TRACE/**FORMAT**/SCALE/CHANNEL/BACK
FORMAT: A felrajzolandó paraméter kijelölése:
LOGMAG/PHASE/DELAY/SMITH/SWR/MORE (POLAR/LINEAR/BACK)/BACK
(Érvénytelen választás is lehetséges, de ilyenkor nem jelenik meg értékelhető ábra.)
Választás után BACK: vissza a DISPLAY menübe
SCALE: Megjelenő menü: SCALE/DIV, REFERENCE POSITION, ELECTRICAL DELAY, BACK
A referenciaérték és a skálaosztás beállítása után: **BACK**
CHANNEL: CH 0 REFLECT/CH 1 THROUGH/BACK: az ábrázolni kívánt csatorna kiválasztása után **BACK**: visszatérés a fő menübe.
DISPLAY/MARKER/STIMULUS/CAL/RECALL SAVE/CLOSE
Ott: **STIMULUS** ld. a *4.1.1. pont* kezdeténél.

4.2. Markerek

A főmenüből **MARKER** választással **SELECT MARKER** / START / STOP / CENTER / SPAN / BACK menük jelennek meg. **SELECT MARKER** választás után a lehetőségek: MARKER 1 / MARKER 2 / MARKER 3 / MARKER 4 / ALL OFF / BACK

A marker kiválasztása után minden sugáron megjelenik az adott sugár színével egyező lefelé mutató nyíl, benne a marker száma. A kiválasztott marker jelenik meg a kijelző jobb felső részének első sorában, és ezt mozgatja a többirányú kapcsoló. Az érintőképernyőn húzással bármelyik marker mozgatható.

A **START, STOP, CENTER** választással a markerek a kijelzett alsó, felső ill, középső frekvenciára állnak. **SPAN:** Még nem használható funkció (2019. december). BACK: vissza az előző menübe.

4.3. Beállítások elmentése és betöltése

Főmenü/RECALL SAVE választásra megjelenő menü: RECALL / SAVE / BACK menüpontok értelemszerű használatával.

Irodalom:

Jánosy János Sebestyén HA5GN: Friedrichshafen 2007 – tapasztalatok, gondolatok; 1. r.: RT 2007/8, 430. o.; 2. R.: RT 2007/9, 489. o.
Jánosy János Sebestyén HA5GN: Egy nagyon sokoldalú műszer: a VNA; 1. r.: RT 2013/1, 5. o.; 2. r.: RT 2013/2, 54. o.; 3. r.: RT 2013/3, 96. o.; 4. r.: RT 2013/4, 144. o.
Jánosy János Sebestyén HA5GN: Amatőröknek gyártott VNA-k összehasonlítása; RT ÉK. 2017, 197. o.
Jánosy János Sebestyén HA5GN: Mérések VNA-val – állomásépítés; RT 2017/7-8, 258. o.
Regály Gyula HA5HU: A Smith diagram egyszerű használata; RT 2020/3, 75. o.
https://github.com/ttrftech/NanoVNA
https://hexandflex.com/2019/08/31/getting-started-with-the-nanovna-part-1/
https://en.wikipedia.org/wiki/Scattering_parameters
https://www.everythingrf.com/community/what-are-s-parameters
https://www.youtube.com/watch?v=CMBZmiAqRTM
https://www.eeweb.com/app-notes/understanding-the-fundamental-principles-of-vector-network-analysis

ÚJ akkuárak a HAM-bazárban!

200 mAh-s	6F22- (9 V-os telep-) méretű	NiMH akku	1900 Ft/db
220 mAh-s	6F22-(9 V-os telep-) méretű	NiMH akku	2000 Ft/db
850 mAh-s	AAA- (mikroelem-) méretű	NiMH akku	350 Ft/db
1000 mAh-s	AAA- (mikroelem-) méretű	NiMH akku	600 Ft/db
2000 mAh-s	AA-méretű, forrfüles	NiMH akku	750 Ft/db
2300 mAh-s	AA- (ceruzaelem-) méretű	NiMH akku	750 Ft/db
2600 mAh-s	AA- (ceruzaelem-) méretű	NiMH akku	850 Ft/db
2900 mAh-s	C-méretű (bébi) forrfüles	NiMH akku	1250 Ft/db

(áfás árak)

Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em., H-P. 09–14, Cs. 09–17 óra.
Tel./fax: 239-4932, 239-4933, 36-os mellék,
hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu

Ne sokat elemezzen, inkább akkuzzon!

16

Próbapanelek és hozzá való vezetékek – kezdőknek és haladóknak

csak 1490 Ft

Próbapanel kicsi

165 x 55 x 8,5 mm
bekötési pontok száma: 630
fővonal bek. pontok száma: 200

csak 2490 Ft

Próbapanel nagy

145 x 82 x 8,5 mm
bekötési pontok száma: 900
fővonal bek. pontok száma: 200

Próbapanel vezeték szett: 115 mm 55 db, 160 mm 10 db, 200 mm 5 db, 250 mm 5 db csak 1490 Ft

HAM-bazár Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép. Nyitva: H-P. 09–14 ó, Csüt.: 09–17 óra
Postán is elküldjük, a postaköltség felszámításával. 1550 Budapest, Pf. 123
(36 1) 239-4932/ 36 m., 239-4933/36 mell. hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu 5

Amatőr kapcsolások – kezdőknek, haladóknak

Fordította: dr. Sipos Mihály okl villamosmérnök

Egyenes vevő 40 m-re

A 70-es években a kezdő rádióamatőrök konstrukciói között messze az első helyet a tranzisztoros, majd a tranzisztor + IC konstrukciójú *szinkrodin vevők* foglalták el. Ezek egyszerűen elkészíthetők és beállíthatók, és egészen jók a műszaki jellemzőik is. A rövidhullámú rádiózással ismerkedők számára pedig gyors lehetőséget biztosítottak az amatőr sávok megfigyelésére. A szinkrodin vevők mind a mai napig nem veszítették el a jelentőségüket.

Az amerikai „QST” folyóiratban *Craig Johnson*, AA0ZZ, közölt egy cikket (The ZZRX-40 direct conversion 40 meter receiver – QST, 2016 July pp. 34...37), melyben egy egyszerű, a 40 m-es sávra méretezett egyenes vevőt írt le. A szerző célja az volt, hogy a helyi rádióklubok kezdő amatőr tagjai is el tudják készíteni a vevőt. Az eszköz mindössze két, alacsonyabb integráltsági fokú IC-t tartalmaz (NE602, LM386). Ezek gyártását az 1980-as években kezdték meg, old timerek, de még ma is kaphatók. A konstrukció eredetileg kvarc alapú oszcillátort tartalmazott. Azonban a kvarc lehatárolja a vevő alkalmazhatóságát, hiszen kicsiny a frekvenciaállíthatósága. Ugyanakkor a kvarcos megoldás lényegesen meggyorsítja a vevő élesztését: Nem kell addig hangolgatni, amíg rá nem találunk a keresett rádióamatőr frekvenciákra. Ez pedig a kezdők számára az ilyen egyszerű készülékek élesztése során az egyik legnehezebb feladat. Napjainkban a rezgőkvarcok nem számítanak hiánycikknek. (Lásd pl. a HAM-bazár kínálatában az XP1 xtalpakkot. – A szerk.) Ugyanakkor a szerző elkészítette a vevőkészüléknek azt a variánsát is, amelyben VFO-t használ, így a 40 méteres sáv teljes szélességében (7000...7200 kHz) tud venni.

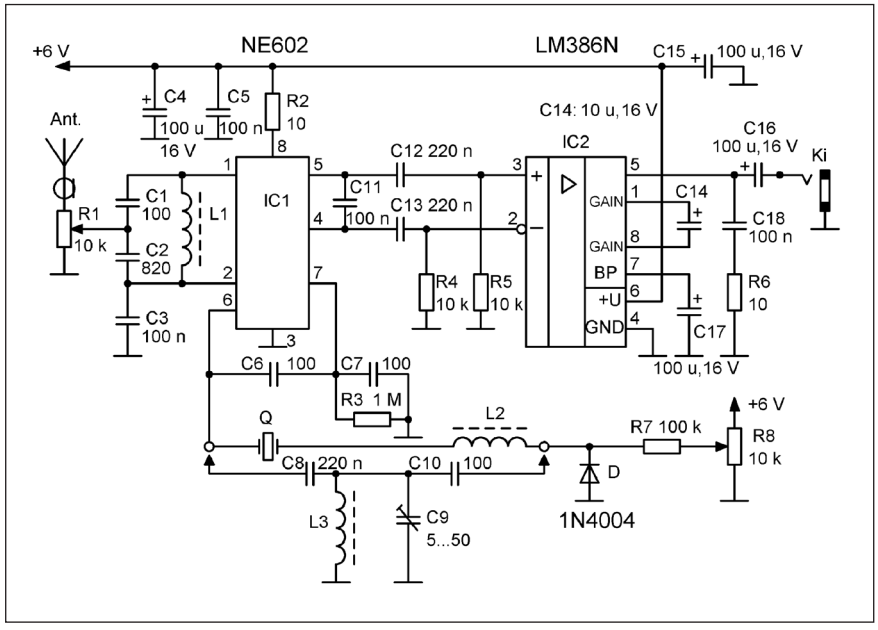
A vevőkészülék kapcsolási rajzát az **1. ábrán** láthatjuk. A jel az antennáról egy bemeneti csillapítóra (R1 potenciométer) kerül. A vevőben ez az egyetlen jelszint-szabályozó eszköz. A bemeneti L1 – C1, C2 rezgőkör körjósága leterhelt állapotban nem nagy, az amatőrsáv vétele során nincs szükség a rezgőkör hangolására, ha változtatunk a venni kívánt frekvencián. Innen a jel az NE602 (vagy NE612, SA612) kettős balanszkeverő IC bemenetére kerül. Az IC-n belül megtalálható egy oszcillátor is. Az így felépített aktív keverő mintegy 18 dB (nyolcszoros) erősítésű, ami lehetővé teszi a továbbiakban egy egyszerű hangfrekvenciás erősítő használatát.

A helyi oszcillátor frekvenciáját a kvarc stabilizálja. A rezgőkvarc frekvenciájának természetesen a rádióamatőr sávba kell esnie. Az oszcillátor úgy lett kialakítva, hogy ezt a frekvenciát néhány kilohertzes mértékben el lehessen hangolni. Ennek érdekében a kvarccal sorba van kötve egy L2 tekercs és a D varikapdióda. A szerző varikapként egy közönséges egyenirányító diódát használt.

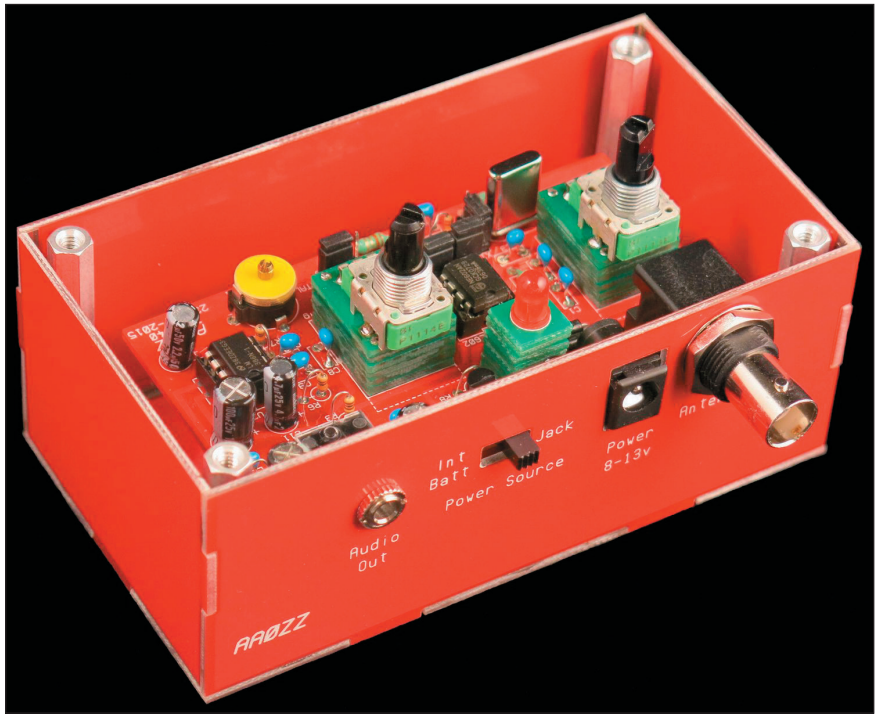
A néhány kilohertzes elhangolhatóság messze nem elegendő a vevő teljes értékű munkájához, de, ez a rezgőkvarc az egész vevőkészülék működőképességét könnyíti meg. Ugyanakkor nem bonyolult művelet átalakítani egy teljes értékűen hangolható berendezéssé. A Q kvarc és L2 induktivitás helyett egy rezgőkört kell építeni, amelyet az L3 induktivitás és a C8...C10 kondenzátorok képeznek (ld. az 1. ábrán). A kívánt vételi frekvenciára ugyanazzal a D varikappal lehet ráhangolni. Ezt a módszert alkalmazva a szerző a teljes 40 méteres amatőrsávot át tudta fogni.

Az NE602 keverő IC 4. és 5. kimenetén a jel ellentétes fázisban van, ami lehetővé teszi az IC2 HF erősítő képességeinek teljes kihasználhatóságát: Jelet adni mind az invertáló, mind a nem invertáló bemenetekre.

Az L1 tekercs induktivitása 3,3 mikroH, az L2-é 15 mikroH, az L3-é 4,7 mikroH. Az idézett cikkben nincs leírás arról, hogyan és milyen vasmagra készüljenek a tekercsek.



1. ábra



2. ábra

Azonban utánépítésnél célszerű, hogy legalább az L1 tekercs rendelkezzen hangolómaggal, mert ez teszi lehetővé a bemeneti rezgőkör ráhangolását a 40 méteres sáv közepére. (Szerényebb követelmények esetén a közismert „ellenellás-szerű” tokozású, fix értékű mini induktivitásokat is használhatjuk. – A szerk,)

A készüléket külső 6 V-os stabilizált tápegység látja el árammal. A vevőt nyák-lapra készítsük el, sajnos ennek rajza sem található a cikkben, melyet egy kisebb dobozban helyezzünk el. A szerző ezt nyák-lapokból forrasztotta össze (**2. ábra**).

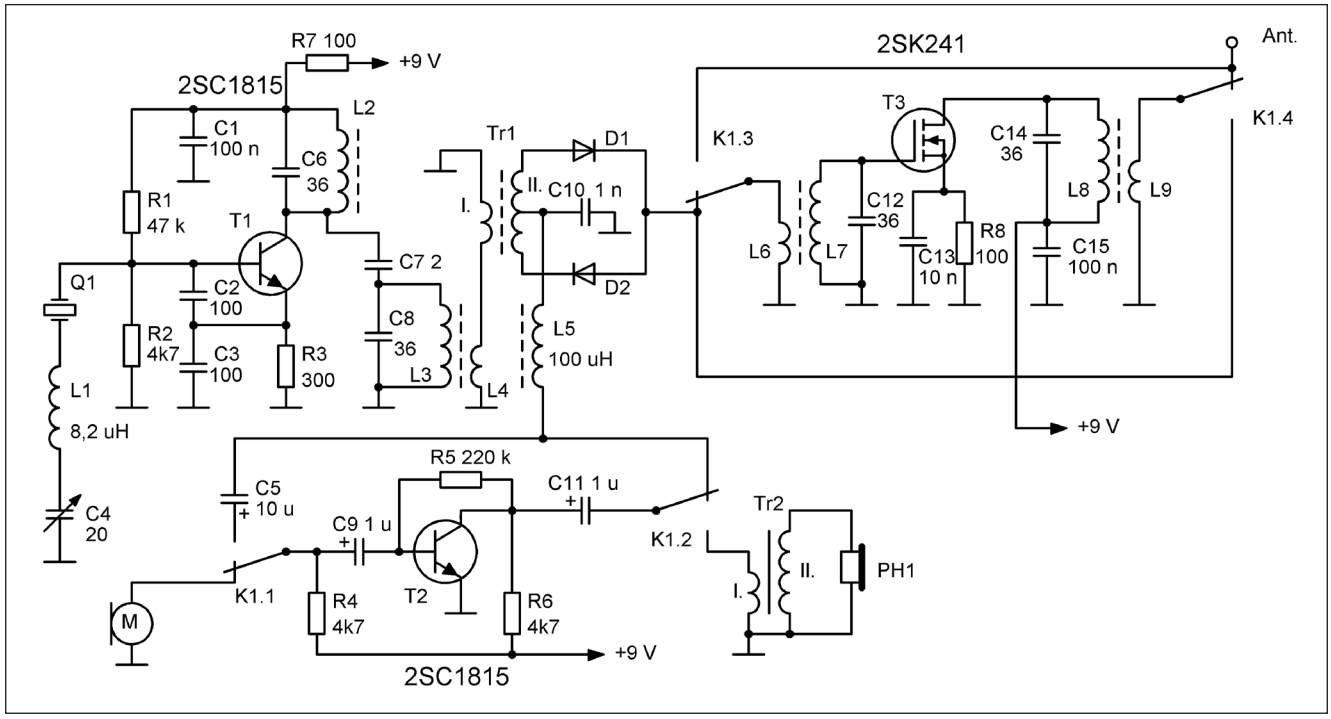
(Ragyio 2016/10.)

DSB mikró adó-vevő

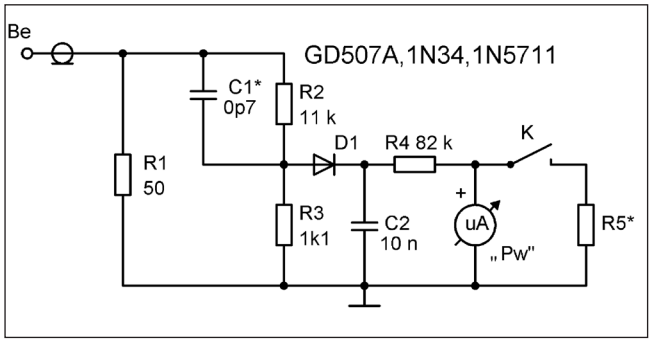
A japán „CQ” rádióamatőr folyóiratban leírás jelent meg egy, a 28 MHz-es sávban dolgozó DSB mikró adó-vevőről, amely mindösszesze 3(!) db tranzisztort tartalmaz (https://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/15/15061/15061_p.180-181.pdf). Ennek kapcsolási rajzát mutatja a **3. ábra**.

Természetesen ez a QRPp adó-vevő elsősorban a helyi összeköttetésekhez jöhet szóba, de hát ez is a része lehet a rádióamatőrködésnek. Az egyszerű rádióberendezések saját kezű megépítése pedig segítséget nyújt a konstruktőri gyakorlat megszerzéséhez. A kapcsolás egyszerűsége annak tudható be, hogy adás üzemmódban a DSB (double side band) -jel képzése rögtön az adási frekvencián történik, míg a vételt egy egyszerű szinkrodin vevő biztosítja.

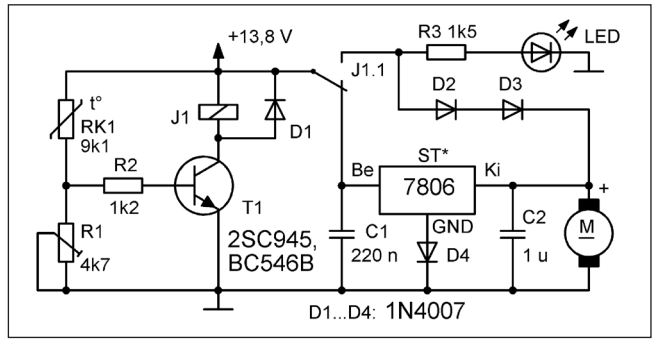
A T1 tranzisztorral lett kialakítva a VXO, amelyet a C4 kondenzátorral lehet hangolni. A Q1 rezgőkvarc frekvenciája 14 318 kHz. (Ez, a számítógépes hardverekben használatos kristály könnyen és olcsón beszerezhető. – A szerk.) A VXO kimenetén lévő L2, C6-C7-L3, C8 felső kapacitíven csatolt sávszűrő a második harmonikusra van kihangolva. Az RF jelfeszültség a VXO-ról a D1, D2 diódákkal kialakított áramkörbe kerül. Ez adás üzem-



3. ábra



4. ábra



5. ábra

módban balansz modulátorként működik és kialakítja a DSB-jelet. Vételkor a szinkrodin vevő keverő-detektoraként dolgozik. Ezeket az áramköri részeket nem kapcsoljuk át az adás/vétel üzemmód váltásakor.

A T2 tranzisztoros fokozat adás üzemmódban elektrét mikrofonos erősítőként, vételkor pedig HF (hangfrekvenciás) erősítőként működik. Vételkor a PH1 piezo fejhallgatóra a jel a Tr2 feszültségnövelő transzformátoron át kerül, aminek impedanciaáttétele 1 kohm prim./20 kohm szek. A T3-as fokozat dolgozhat a vevő RF erősítőjeként, illetve az adó teljesítmény erősítőjeként is. Az ezen fokozatok számára szükséges átkapcsolások K1 segítségével történnek. (K1 ábra szerinti állásában a készülék adás üzemben van.)

T1 és T2 helyén pl. a 2N2369, KSC815Y, 2N708, BC546B, a D1 és D2 helyén pl. az 1N34 vagy az 1N5711 Ge, illetve Schottky jeldiódák használhatók.

(Ragyio 2016/4.)

Műantenna, teljesítménymérővel

A saját készítésű RH erősítők, transziverek beállítása során – egyéb műszerek mellett – szükség van műterhelésre és a kimenő teljesítmény mérésére szolgáló eszközre is. Efféle gyári eszközök beszerzése nem tartozik az olcsó mulatságok közé, ugyanakkor egyszerű változatukat magunk is elkészíthetjük. Ráadásul, ha ezt a kettőt egy dobozban helyezzük el, akkor helyet takarítunk meg a kis műhelyünkben és kevesebb összekötő vezetékre lesz szükségünk.

A **4. ábrán** látható kimeneti teljesítmény indikátor tartalmaz egy műantennát is, melynek lelkét az R1, az Anaren Microwave cég RFP250N50TC típusú indukciómentes UHF ellenállása jelenti. Található benne még egy feszültségosztó (R2 és R3 ellenállások), C1 kondenzátor és egy egyszerű RF voltmérő (D1, C2, R4, műszer). A C1 feladata az eszköz átviteli karakterisztikájának kiegyenesítése az RF sávban. A szerzői példányban ez egy saját gyártású eszköz volt. Ehhez szükség van egy 7×15 mm-es nagyságú, 1,5 mm vastag, kétoldalas, üvegszálas anyagú nyák-lemez darabra. A számunkra szükséges méreteket, azaz az így kapott kondenzátor kapacitását kísérleti úton állapítjuk meg a nyák-darabka oldalai fokozatos lecsiszolásával. A szerző kondenzátora végül is 5×7 mm-esre sikeredett, melynek műszerrel mért kapacitása 0,7 pF volt. A K átkapcsolóval egy R5 söntellenállás segítségével a kimeneti teljesítmény méréshatárait változtathatjuk 200 vagy 500 W-ra.

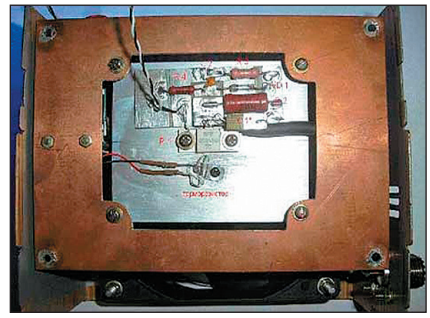
Az R1 műterhelés léghűtéssel lett ellátva arra az esetre, ha maximális kimenő teljesítmény mellett elhúzódna a végfok behangolása. A ventilátort egy hőrelé kapcsolgatja **(5. ábra)**. A tápfeszültség ráadásakor a ventilátor M motorja kisebb feszültséget kap, így kisebb sebességgel kezd el forogni. Ezt a feszültségértéket a 7806 stabilizátor IC és a D4 dióda határozzák meg. Ha a műterhelés hűtőfelületének hőmérséklete meghaladja az 55 ºC-t, akkor az RK1 NTK ellenállás értéke annyira lecsökken, hogy emiatt kinyit a T1 tranzisztor és a J1 relé meghúz. Az M motorra a D2, D3 diódákon keresztül a teljes tápfeszültség rákerül. A két dióda szerepe az, hogy a +13,8 V-os tápfeszültséget az M számára +12,6 V-ra csökkentsék. Ezzel egyidejűleg kigyullad a LED, ezzel jelezve, hogy a műantenna hőmérséklete jelentősen megnőtt, lehet, hogy szünetet kell beiktatni a beállításba.

A teljesítménymérő alkatrészeinek többsége egy 1,5 mm vastag üvegszálas nyák-lapon lett elhelyezve **(6. ábra)**. Az alkatrészeket a fóliaoldalra közvetlenül forrasszuk rá. Az R1 ellenállást hővezető paszta felhasználása mellett egy 90×65×35 mm-es bordás hűtőfelületre erősítsük fel. (Ilyen például az Intel öreg, P4 sorozatú mikropocesszorának hűtőteste.)

A műszer bármilyen nagy skálájú, 100 uA végkitérésű mikroampermérő lehet. A szerző kiegészítésként még elhelyezett két kisméretű izzót a skála megvilágítására. Az csatlakozó típusa a szokásos SO239 (Amphenol aljzat).

Az indikátor skálaértékeit wattban kell felvenni. Az előzetes beskálázás egy 50 Hz-es szabályozható autotranszformátor segítségével végezhető el. Ezt követően adjunk egy adókészülékről (a szerző Kenwood egy TS-570-et használt) ismert értékű jelet a műterhelésre, és így ellenőrizzük a skála közepén és végén az autotranszformátor segítségével felvett értékeket. A skála, mint az várható is, közel logaritmikusnak adódik. Az 500 W-os méréshatárnál esetleg adódó 10...20 W-os mérési hiba az esetek többségében még teljesen elfogadható a rádióamatőr gyakorlatban. Az R5 söntellenállás értékét a készülékünk behangolása során, kísérleti úton határozzuk meg. A 200 W-os skála megrajzolása során a fentiekkel analóg módon kell eljárni.

A termorelét kísérleti nyák-darabra szereljük meg. Az RK1 NTK ellenállást hővezető paszta felhasználása mellett közvetlenül az R1 hűtőfelü-



6. ábra

7. ábra

letére rögzítsük. A J1 relé 12 V-os, a LED bármilyen 5 mm-es típus lehet, ajánlatos a piros színű alkalmazása. A 120×120 mm-es M hűtőventilátort egy öreg ATX számítógép tápegységéből építhetjük ki. Ennek a háza lesz egyben az eszközünk doboza is **(7. ábra)**.

A tápfeszültséget közvetlenül a transziver tápegysége szolgáltatja, a felvett áram max. 300 mA.

(Ragyio 2016/7.)

LED-es indikátor SWR-mérőhöz

A bemutatásra kerülő egyszerű SWR-érték indikátor segítségével állandóan kontroll alatt tarthatjuk az antenna-tápvonal rendszer működőképességét. Ezen túlmenően az indikátort továbbfejlesztve könnyen megépíthetünk egy, megemelkedett SWR esetén hangjelzést adó, illetve váratlanul nagy SWR-érték esetén a rádióberendezést kikapcsoló (ezáltal azt megvédő) eszközt is.

Az automata SWR-mérők méltán lettek népszerűek, hiszen alkalmazásukkal nincs szükség a rendszer állandó kalibrálására. Ez lényegesen leegyszerűsíti a mérési folyamatokat, illetve az éterben végzett munka során folyamatosan ellenőrizhető az antenna-tápvonal traktus illesztettségének milyensége. A rádióamatőrök sok sikeres kapcsolási megoldást dolgoztak már ki, ezeket alapvetően két csoportra lehet osztani. Az első csoporthoz az impulzus-szélesség szabályzót tartalmazó áramkörök tartoznak. Ezek relatíve bonyolult kapcsolástechnikai megoldású eszközök. Jellemzően két blokkból állnak: egy 3-4 műveleti erősítőt tartalmazó önkalibráló áramkörből, és az indikátor blokkból. Utóbbi lehet mutatós műszeren alapuló analóg kijelzős, vagy bonyolult átalakítót tartalmazó digitális kijelzőjű. A másik csoportba a rezisztív osztón alapulók tartoznak. Ezek fő jellemzője az egyszerűség. A rezisztív osztókon alapuló SWR-mérők felépítése, kiszámításának metodikája közismert.

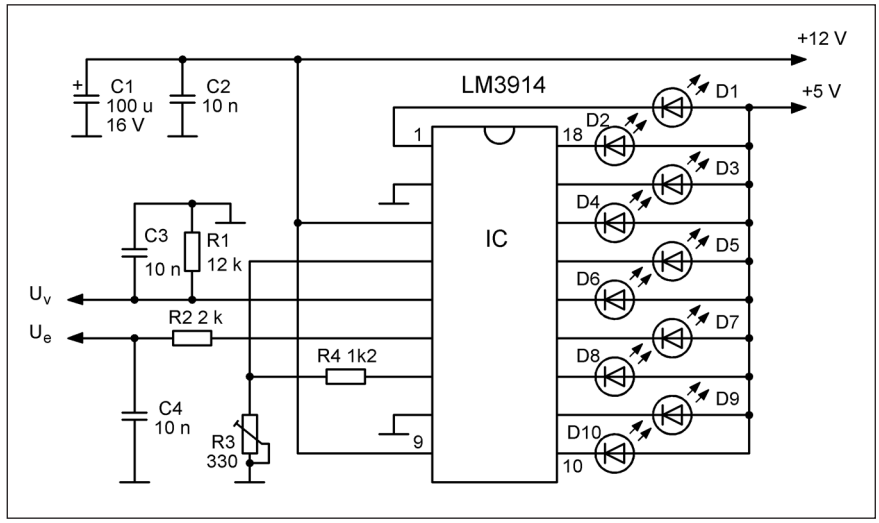
Nagyon figyelemreméltók és ergonómiailag előnyösek a LED-es kijelzőjű SWR-indikátorok. Itt kell szót ejteni ezen készülékek két fontos tulajdonságáról. Először is nincs szükség kalibrálásra vagy autokalibrálásra. A mérés pontosságát csak az alkalmazott ellenállások pontossága szabja meg, illetve a komparátorok érzékenysége. Másodszor pedig a gyors reakcióképességük miatt használatuk ajánlható az antenna-tápvonal rendszer állapotának folyamatos megfigyelésére. Vannak esetek, amikor elegendő kiszámolni három-négy működési küszöbértéket. Azonban, ha alap SWR-indikátorként kívánjuk működtetni, az igazán komfortos használathoz a kijelzendő szintek számát meg kell növelni minimum 5...7-re.

A **8. ábra** szerinti automata, LED kijelzőjű SWR-mérő egytelepes tápfeszültséget igényel. Tíz szintet képes kijelezni, ugyanakkor a konstrukció egyszerű, ami a – HAM-bazárban is – olcsón hozzáférhető LM3914-es IC alkalmazásának köszönhető. Ez egy lineáris LED-skála vezérlő áramkör, melyben minden megtalálható abból, amire szükségünk van: precíziós, lineáris, tízfokozatú feszültségosztó, 10 komparátor, a LED-eket vezérlő áramkör.

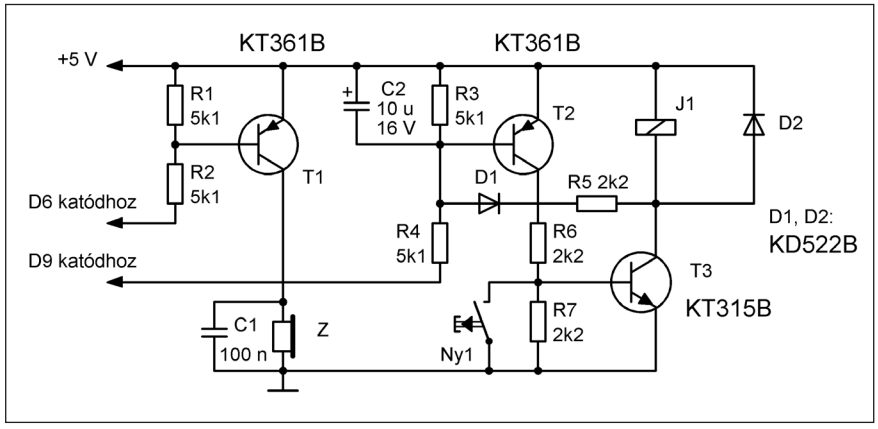
Az előremenő (U_e) és a visszaverődő (U_v) jelfeszültség az SWR jeladóról az IC bemeneteire kerül. Az előremenő jel megengedett feszültségértéke +1...+11 V. Ezt a jeladók behangolása során kell beállítani, úgy, hogy az illesztett terhelésre ráadjuk a nominális teljesítményt. Ennek a feszültségnek az alsó értékét 2 V körüliben kell megállapítani, hogy ezáltal minimalizáljuk az SWR-detektor germánium diódái nonlinearitásának hatását a mérés pontosságára. Az előremenő és visszavert hullámok jeladói gyanánt bármilyen ismert konstrukció alkalmazható, amely iránycsatolót, áramtranszformátort vagy a szakirodalomban jól leírt hídkapcsolást tartalmaz.

Az előremenő hullám feszültsége az R2 ellenálláson keresztül az IC 6. lábára kerül, amely az IC belső ellenállásosztójának a felső ágára van kötve. Ez az osztó tíz, sorba kötött, egyforma nagyságú (kb. 1 kohmos) ellenállásból áll. A külső kiegészítő R2 ellenállásra azért van szükség, hogy a működési küszöbértékeket könnyebben beállíthassuk, ezáltal pedig a LED-ek által kijelzett SWR-értékeket. A szerző által megépített eszközben a D1 LED kigyulladása 1,2-es SWR-értéket jelent, majd rendre 1,4; 1,7; 2; 2,5; 3; 4, 5; 7, végül a D10-é: 11.

Ezek az értékek akkor állnak fenn, ha a belső osztó eredő ellenállása 10 kohmmal egyenlő. Azonban az IC gyártási technológiája miatt ez az érték 8...17 kohm között változik. Ezért az SWR-mérő nagy pontosságának biztosítása érdekében meg kell mérni az R_B belső osztó eredő ellenállást, amihez kössünk ohmmérőt az LM3914 4. és 6. lábai közé. Ez megtörténhet akár egy egyszerű kínai digitális multiméterrel is, ahol a mérőfeszültség kicsiny (nem több mint 0,2 V), ami alacsonyabb a Si pn átmenetek nyitófeszültségénél. Ez biztosítja a mérés megfelelő pontosságát. A szerzői készülékben az R_B eredő ellenállás értéke 9,92 kohmnak bizo-



8. ábra



9. ábra

nyult. A mért érték felhasználásával lehet kiválasztani R2 pontos értékét ahhoz, hogy az általunk kívánt kijelzési karakterisztikát elérjük.

Az egyes SWR küszöbértékeket egy adott IC-re, általunk kiválasztott R2 érték ismeretében az alábbi formulával lehet kiszámolni:

$$SWR = (R_B + R2 + R_O)/(R_B + R2 - R_O).$$

Itt R_B és R2 kohmokban van megadva, illetve R_O értéke az ellenállás osztónak az adott fokozathoz tartozó értéke (azaz 1; 2; …10).

A többi alkatrészről. Az R1 ellenállás kiegyenlíti az SWR-jeladó egyenirányítóinak terhelését, ezért ennek az értéke R2 + R_B kell legyen. Az R4 ellenállás állítja be a LED-eken átfolyó áramot kb. 10 mA értékben. A C3 és C4 kondenzátorok a bemeneteket védik az RF zavaroktól. A 8. ábra szerinti beállításban világítóoszlop üzemmódban dolgozik a kijelző. Ha az IC 9. lábát nem kötjük be, úgy csak az aktuális SWR-értéket jelző LED fog világítani.

A gyakorlatban találni olyan LM3914 példányokat, amelyeknek az 5. bemenethez tartozó előfeszültség elég magas. Ez azt jelenti, hogy bemenő jel nélkül is kijelez az indikátor. Hogy ezt megakadályozzuk, a 4. lábra kis értékű pozitív feszültséget kell adni. Ehhez a 4. láb és a közös földvezeték közé be kell kötni az R3 220...330 ohmos trimmer-potenciométert. Bekapcsolva a tápfeszültséget a trimmer forgatásával el kell érni, hogy bemeneti jel nélkül ne kezdjen el világítani egyetlen LED sem.

A LED-ek típusa bármilyen lehet. Konstrukciós szempontból a legjobb az eleve egy vonalban tokozott, 10 darabot tartalmazó kivitelű. Ilyen például a KingBright gyártmányú DC-763BWA típusú, amelyben 7 darab zöld és 3 darab piros LED van (ez utóbbi megfeleltethető pl. az SWR>4 értéknek).

Az SWR-mérőnket kiegészíthetjük hangjelzéssel, amely valamely SWR küszöbérték elérésekor kezd el működni, vagy egy automata védőáramkörrel, amely magas SWR esetén lép működésbe. Egy ilyen áramkör kapcsolási rajza a **9. ábrán** látható. Működése a következő: Ha az SWR-érték eléri a 3-at, a 8. ábra D6-tal jelzett LED-je kigyullad. Az ezen eső feszültség kinyitja a T1 tranzisztort, amely bekapcsolja a saját belső generátorral ellátott akusztikus sugárzót (Z). Ez bármilyen típusú lehet, csak az a fontos, hogy kellőképpen hangosan működjön +5 V tápfeszültség esetén is. Ha a hangjelzés dacára az SWR tovább nő és eléri a 7-es értéket, úgy kinyitnak a T2 és T3-as tranzisztorok és meghúz a relé. Ennek kontaktusai, melyeket a 9. ábra nem tartalmaz, a transziverünket átkapcsolják vételi üzemmódba, vagy lényegesen lecsökkentik az adó kimenő teljesítményét.

A D1-R5 alkotta pozitív visszacsatoló lánc a T2, T3 kapcsolófokozatot mintegy rögzíti a nyitott állapotban. Ebből kivinni csak az Ny1 nyomógomb benyomásával lehet, vagy pedig az áramkör teljes feszültségmentesítésével. A C2 kondenzátor némi (kb. 1 s) késleltetést visz a relés védőáramkör működésébe. Tényleges értékét a saját szempontjaink alapján választhatjuk meg.

A felhasznált tranzisztorok típusa bármely Si, univerzális, kisjelű pnp és npn lehet: BC212, BC308, BC550, BCY78, 2N3906, ill. 2N3904, BC182, BC546, BC548, BCY58. A diódák tetszés szerinti kisteljesítményű, Si anyagú eszközök pl. 1N914, N125, 1N4148, 1N4154. A relé 5...6 V-os legyen.

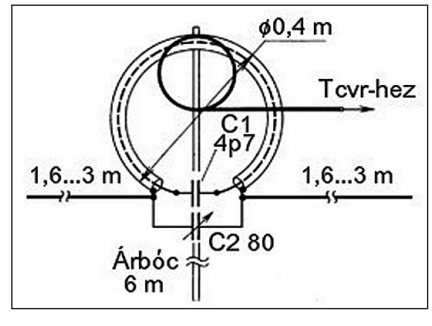
(Ragyio 2016/11.)

10. ábra

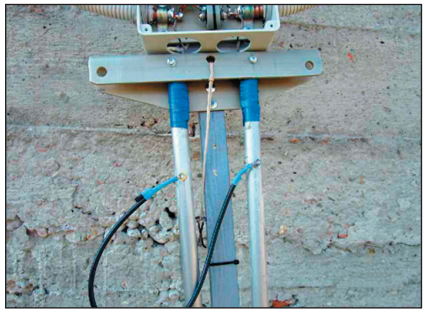
UA6AGW antenna 20...10 m-re

A **10. ábrán** látható antenna a 14...29,5 MHz-es sávban működik, ezzel 5 rádióamatőr sávot is lefed. A számunkra szükséges frekvenciára hangolása egy távvezérlő rendszer segítségével történik. Maga az antenna és annak árbóca, kompakt méretüknél fogva, akár egy személygépkocsi csomagtartójába is befémek. Az egyes alkotórészek hossza nem haladja meg a 2 métert, a keretantenna átmérője kisebb 1 méternél. Az antenna konstrukció úgy lett kialakítva, hogy egy ember is bárhol könnyedén felállíthassa. Nincs szükség merevítő/feszítő kötelekre, a konstrukció mégis elviseli az erős széllökéseket is.

Az antenna elektromos kapcsolása nem tér el a szerző korábban már publikált (Ragyio 2011/2., 40 m-es antenna), nem irányított antennáitól. A jelen verzió méretei a **11. ábráról** olvashatók le. A 18...29,5 MHz-es sávban dolgozó antenna vízszintes sugárzóinak hossza 1,6 méter. Ha a 14...18 MHz-es frekvenciákon akarunk dolgozni, úgy ezeket 3 méteresre kell megnövelnünk és a C2 kondenzátorral párhuzamosan kell kötnünk egy 25 pF-os kiegészítő kondenzátort. A szerzői variánsban ezt a kondenzátort egy 8 mm átmérőjű, 75 ohm hullámellenállású koaxkábel



11. ábra

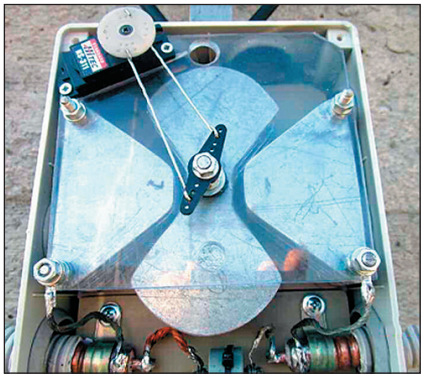


12. ábra

darabból alakították ki. Erre a kondenzátorra azért volt szükség, mert az alkalmazott forgókondinak nem volt elég nagy a maximális kapacitása. Ha szükségessé válik ennek a kondenzátornak a bekötése, úgy az könnyen elvégezhető még mezei körülmények között is.

A keretantenna LCF12-50J S típusú koaxiális kábelből készült, ilyet használnak a mobiltelefon bázisállomások tápvonalaiban is. Ennek külső átmérője 15 mm. A kábel külső vezetője (azaz a „harisnya”) 13,8 mm átmérőjű bordázott rézcsőből készül, míg a belső vezetéket egy 4,8 mm átmérőjű rézcső alkotja. A kettő közötti teret habosított polietilén tölti ki. A külső, fekete PVC szigetelést távolítsuk el, mivel ennek adalékanyaga a nagyobb frekvenciákon jelentős veszteségeket okoz. A külső vezetőt vonjuk be több réteg védőlakkal, majd húzzuk be a kábelt egy villanyszerelési műanyag gégecsőbe.

Az antenna vízszintes sugárzóit teleszkópos konstrukciók alkotják. Ezek 2-2 14 mm, illetve 18 mm átmérőjű dúralumínium csőből állnak, hosszuk egyenként 1,55 méter. A nagyobb átmérőjű csövek külső végein kb. 100 mm hosszan készítsünk 1,5...2 mm széles tengelyirányú bemetszést, hornyot, melynek segítségével a kisebb átmérőjű csöveket könnyebben tudjuk majd fixálni. Ezzel egyszersmind az



13. ábra

elemek között jobb elektromos kontaktust tudunk elérni, ha a 20 m-es sávhoz kihúzzuk a belső csöveket. A hornyos részen használjunk csőbilincseket a csövek egymáshoz szorításához, rögzítéséhez.

A nagyobb csövek másik végeit erősítsük egy U-alakú lemezhez csuklópántok/zsanérok segítségével. (A **12. ábra** az antenna ezen részének egy lehetséges kialakítását szemlélteti.) Ezt a lemezt 3...4 mm vastag műanyag lapból alakítsuk ki. Az U-alakú lemez, a keretantenna, a csatoló hurok és a kondenzátorokat tartalmazó doboz egy 25×25 mm-es léchez vannak erősítve, amely végső soron az antenna árbóc része. Mintegy 100 mm távolságra a csövek belső végeitől erősítsünk fel egy-egy M4-es csavart és alátétet. Itt fogjuk szükség esetén bekötni a 14 MHz-es sávhoz szükséges kiegészítő kondenzátort. A zsanérok segítségével a vízszintes antennaelemeket munkához ki-, szállításhoz lehajthatjuk. Összecsukott állapotban ezek egyenkénti hossza 1,6 méter, kinyitva 3 méter.

A vízszintes sugárzók egy csupasz, sokeres rézkábeldarab segítségével össze vannak kötve a keretantenna külső vezetőjével. Mivel az alumínium forrasztása házi körülmények között kifejezetten bonyolult művelet, ezért a vastagabb csövek belső végére alumínium szegecsekkel rögzítsünk négy darab réz forrfület. Ezekhez forrasszuk a fent említett réz összekötő kábeldarabot. A szegecselések, illetve forrasztások helyét szigetelő szalaggal több rétegben tekerjük körbe, így védve azokat a víztől.

A C1 3,5 kV-os, 4 kVAr kerámia kondenzátor kapacitása 4,7 pF. A C2 kondenzátor házi gyártású lepkeforgó, amely 6 forgó és 7 db álló lemezből áll. E kondenzátor méretei: 115×130 mm. A kondenzátor lemezei 0,5 mm vastag ónozott acéllemezből készüljenek. A forgórész lemezei egyenként 24 cm^2 területűek, míg az állórész lemezei ennél kétszer nagyobbak. A kondenzátort M5-ös menetes pálcára készítsük el, a lemezek közötti távolságot M5-ös anyacsavarok állítják be. Acél anyagú alkatrészek használata nem jelent hátrányt az adott áramkör működésében, sőt semmi akadálya annak, hogy más fémeket is kipróbáljunk. A szerző egy hagyományos forgókondenzátort is kipróbált, melynek minden második lemezeit eltávolította.

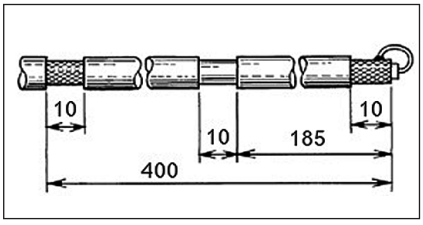
A C1 és C2 kondenzátor és a szervomechanizmus egy hermetikusan lezárható, 140×200 mm nagyságú dobozban lett elhelyezve.

A C2 kondenzátor távvezérlővel való elforgatása az autó- és repülőgép modellekben használatos HiTec HS-311 típusú szervomotorral történik. A szervomotor és a kondenzátor közötti mechanikus kapcsolatot a **13. ábra** szerinti módon, huzal segítségével valósítsuk meg. A szervorész vezérlésére egy kis pult lett kialakítva, amelynek alapját egy digitális kijelzővel ellátott szervoteszter képezi. (Ilyen az internetről szerezhető be.) Az utasításokat UTP-4-C5e tipusú, 4×2 csavart érpárú, számítógépes kábellel továbbíthatjuk. A vezetékek közül 3 párat használunk fel.

A szervoteszter digitális kijelzőjén látható számok a vezérlő motor tengelyének elfordulási szögét mutatják fokokban. A dobozon helyezzünk el egy táblázatot, amelyről leolvasható, hogy mekkora elfordulási szöget kell alkalmazni ahhoz, hogy adott vízszintes sugárzóhossz mellett az antennát valamely frekvenciasávra behangoljuk. A táblázat értékeit magunknak kell az antenna kézi behangolása során megállapítanunk. A teszter bal oldalán található „Select” gomb lenyomása után a vezérlő motor tengelye az általunk megállapított értékre elfordul. Kiinduló helyzetben az irányítópulttól a vezérlő motorhoz tartó 3 kábelből kettő nincs feszültség alatt. Ez azért van így, hogy külső, indukált feszültség hatására a szervomotor ne kezdjen el működni. Ugyanebből a célból húzzunk a vezérlőkábelre ferritgyűrűt.

Megnyomva a „Select” gombot záródnak a kontaktusok és a szervomotor tengelye a számunkra szükséges helyzetbe mozdul. A kondenzátor forgórésze az egyik véghelyzetből a másikba kb. 1 másodperc alatt mozdul át. A pozicionálás pontossága – a visszacsatolásnak betudhatóan – nagyon magas. Hogy a teszterrel kényelmesebben lehessen dolgozni, a szögbeállító tengelyre érdemes nagyobb átmérőjű tekerőgombot felrakni. A teszter működtetéséhez stabilizált tápfeszültségre van szükség, melynek értéke +4,8...+6 V között legyen. Ha a tápfeszültség +6 V, úgy a távvezérlő kábel hosszúsága akár meg is haladhatja az 50 métert.

Az antenna csatolóhurokja 50 ohmos koaxiális kábelből készül, amilyennel az antenna táplálása is történik. A hurok alapvető méretei és



14. ábra

elkészítésének módja a **14. ábrán** látható. A kábel végén, illetve attól 400 mm távolságra az ábrán látható módon távolítsuk el a külső szigetelő PVC bevonatot, illetve a kábelszakasz közepén 10 mm hosszúságban az árnyékoló fémharisnyát is. A koaxkábel belső erét a kábel végén forrasszuk hozzá a harisnyához. Majd ezt a kábelvéget hozzáillesztjük a másik lebontott szigetelésű kábelszakaszhoz, majd oda is forrasztjuk. Az így kapott hurkot hozzáerősítjük a keretantenna felső részéhez. Maga az antenna a tartóléchez műanyag kábelkötegelőkkel van hozzáerősítve. Az összeállításkor az árbóc csúcsa, a csatolóhurok szimmetriapontja és a sugárzó antennahurok szimmetriapontja egybe kell essenek. A szimmetriaponttól jobbra és balra egyforma, kb. 4...5 cm távolságra kábelkötegelővel rögzítsük a csatoló hurkot a keretantennához. Nagyon fontos, hogy ezen a ponton meglegyen a szimmetria, mert így sikerül megelőzni áramok felléptét a tápkábel harisnyájában.

Az antennát egy kb. 6 méter magas árbócra erősítsük fel. Ez három műanyag csőből áll(hat), melyek átmérője 42, 36 és 30 mm. A szerző egy nyolcméteres R-QUAD árbóc konstrukció három darabját használta fel. Legelőször vízszintesen, a földön állítsuk össze az antennát, majd emeljük függőlegesre és rögzítsük a kívánt irányba. A rögzítéshez használjunk 2 méter hosszú fa támasztékokat, ez bőven elegendő az antenna megbízható lefixálásához.

Az antenna előzetes behangolása során előfordulhat, hogy a csatolóhurok kör alakját oválisra kell változtatni, vagy pedig a vízszintes antennatagok hosszát kell módosítani. Az optimálisra hangolt állapot az lesz, amikor a működési sávokra minimális SWR-értéket kapunk. (A szerzői variánsnál ez nem rosszabb, mint 1,5 volt.) Az antenna sávszélessége megfelelő, valamely amatőrsáv közepére hangoláskor nincs szükség utánállításra. A teljes sávszélesség határai között az SWR nem lehet nagyobb 2-nél, bár a 10 m-es sávban esetleg meghaladhatja ezt az értéket. Ha a frekvenciasávok szélein dolgozunk, szükségessé válhat az antenna némi utánhangolása.

Az antenna iránydiagramja a függőleges síkban ellipszis alakú, a vízszintes sugárzók mentén elnyújtva, mentes a nagyobb behorpadásoktól. A sugárzás irányában és a rá merőleges irányban mért jelszintek különbsége mintegy 3 dB.

(Ragyio 2016/4.)

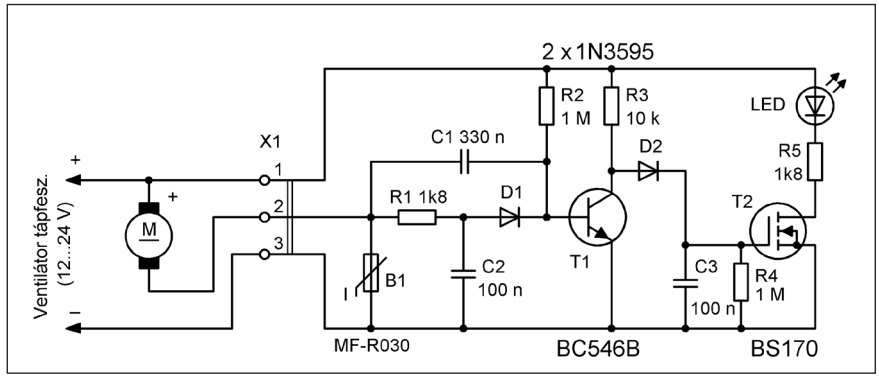
Ventilátor-ellenőrző áramkör

A különböző rádió-elektronikai eszközök (pl. távkezelt PA) használata során felmerülhet a kisfeszültségű ventilátorok működésének ellenőrizhetősége. A szerző arról szeretett volna meggyőződni, hogy DLP projektorának a hűtőventilátorai működőképesek-e, hiszen ezek elromlása végzetes hatással lenne a kivetítőjére. Kidolgozott egy nem bonyolult konstrukciót, amely még azelőtt jelez, ha a ventilátorok közül egy is elromlik, megáll, hogy megnőne a hűtendő eszköz hőmérséklete.

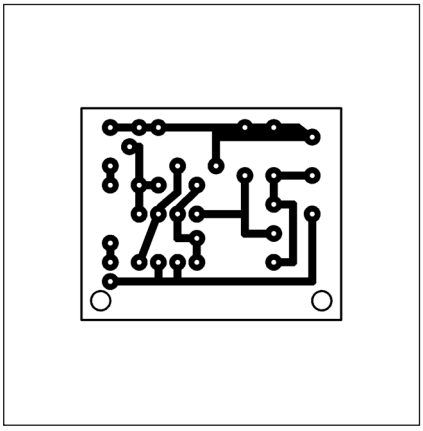
A **15. ábrán** látható összeállítás alkalmas a 12 és 24 V tápfeszültségű hűtőventilátorok állapotának ellenőrzésére, de használható más egyenáramú, kollektoros villanymotorok esetében is. A konstrukció lényege abban áll, hogy a működéshez szükséges jelet egy öngyógyuló biztosíték (B1) szolgáltatja. Alaphelyzetben a biztosíték ellenállása kicsiny, ezért rajta kicsi a feszültségesés. Mind az elektronikus meghajtású ventilátorok, mind az egyenáramú, kollektoros villanymotor működése során a tápfeszültség láncban rövid áramimpulzusok figyelhetők meg. Ezen impulzusok ideje alatt a B1 öngyógyuló biztosítékon feszültségimpulzusok keletkeznek, amelyek a C1 kondenzátoron át a T1 tranzisztor bázisára kerülnek. Ennek a kondenzátornak köszönhetően a tranzisztor bázisán eltérő előjelű impulzusok lesznek jelen.

A tranzisztor üzemmódját az R2 ellenállással úgy kell beállítani, hogy a kollektorfeszültsége 1 V körüli legyen. Így a C3 kondenzátor a D2 diódán keresztül pár tized voltra feltöltődik, T2 tranzisztor zárva marad, a LED nem világít. A T1 tranzisztor nem kerül telítésbe, aktív állapotban marad. Amikor az M motor működik, a negatív feszültségimpulzusok által a T1 egy rövid időre lezár, és ebben a pillanatban a kollektorán megjelenik a tápfeszültség, a C3 kondenzátor a D2 diódán át elkezd néhány voltra feltöltődni. Végeredményben a T2 tranzisztor kinyit és a LED világítani kezd. A feszültségimpulzusok ideje között a C3 kondenzátornak nincs ideje kisülni az R4 ellenálláson keresztül, így a T2 tranzisztor nyitva marad és a LED folyamatosan világít. Ezzel tájékoztatva a villanymotor megfelelő működéséről. A D2 dióda meggátolja a C3 kondenzátor kisülését a nyitott állapotban lévő T1 tranzisztoron keresztül.

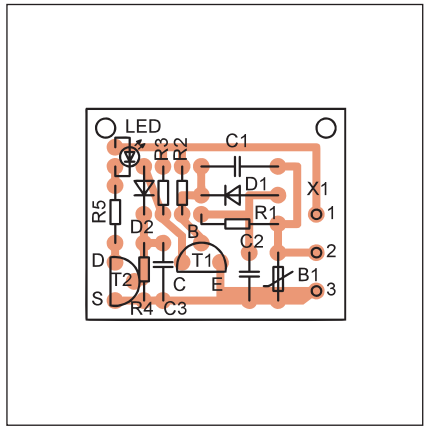
Ha a ventilátor tápellátása megszakad vagy a motor mechanikai meghibásodás miatt megáll, úgy a T1 tranzisztor bázisára nem kerülnek feszültségimpulzusok. A C3 kondenzátor az R4 ellenálláson keresztül kisül. Végeredményben a T2 tranzisztor lezár, a LED kialszik – így jelezve a hibás állapotot. Ugyanez történik, ha a ventilátor tápáramkörében rövidzárlat lép fel. Ekkor a B1 biztosíték működésbe lép, az ellenállása lényegesen megnő és az R1 ellenállásra gyakorlatilag a teljes tápfeszültség rákerül. A T1 tranzisztor telített állapotba kerül, a C3 kondenzátor nem töltődik. Ezért a T2 tranzisztor zárva lesz és a LED nem fog világítani mindaddig, amíg a hibát el nem hárítjuk. A C2 kondenzátor elnyomja a za-



15. ábra



16. ábra



17. ábra

jokat, amelyek a pozitív tápfeszültségkábel felől érkeznek.

Az alkatrészek a **16. ábrán** látható rajzolatú egyoldalas nyák-lapon a **17. ábra** szerint lettek elhelyezve. Az ellenállások fémréteg típusúak, a kondenzátorok kerámia vagy fólia anyagúak A BC546B tranzisztor helyettesíthető pl. BC182, BC548B, BCY58, 2N2222, 2N3904 típusúval, a BS170 helyett használható a 2N7000, BS107. A diódák tetszés szerinti kisteljesítményű, Si egyenirányító vagy impulzusdiódák lehetnek (1N914, 1N4148, 1N4154, N125). A LED 3...5 mm átmérőjű, maximális árama 20 mA. Az öngyógyuló biztosíték típusa az MF-R, RXE, RUE, TR sorozatok darabja lehet, a fontos, hogy a működési áramérték 1,5...2-szer nagyobb legyen a ventilátor által felvett áram névleges értékénél.

A szerző a saját példányát kipróbálta -20 és +60 ºC hőmérsékletek között, hosszú évek óta kiválóan működik.

(Ragyio 2016/8.)

Konverter a 118...137 MHz-es sávra

A civil (kis- és nagygépes, magán és üzleti) repülőforgalom által használt teljes repülősávon (AIR) belül 108,000 MHz-től 117,975 MHz-ig az úgynevezett NAV (navigációs) tartomány, illetve 118,000-tól 136,975 MHz-ig a COM (kommunikációs) tartomány található, elkülönítve ezzel a két feladatot egymástól. A bemutatásra kerülő konverter segítségével a polgári légi forgalom által verbális kommunikációra használt frekvenciák figyelhetők meg egy RH vevőkészülékkel. Ezeken a frekvenciákon folyamatosan adják a különböző repterek meteorológiai információit, illetve itt folyik a beszélgetés a repülőgépek pilótái és a földi irányítószemélyzet között. A repülősávon történő civil adások kódolatlanok, így bárki számára hozzáférhetőek.

A repülősávban AM modulációt használnak, ezért megfelelő kiegészítéssel egy RH vevőkészülékkel is megfigyelhetjük a forgalmat. Ehhez egy frekvencia-átalakítóra (konverterre) van szükségünk, melyet egy helyi rezgéskeltő, egy keverő és néhány szűrő alkot. A konverternek célszerűen a 7...26 MHz-es sávba kell átalakítania a jeleket. Ehhez az kell, hogy a helyi oszcillátorunk frekvenciája vagy 111 MHz, vagy 144 MHz legyen. Az első eset nem túl szerencsés, mivel ekkor a vett jel tükörfrekvenciája a 85...108 MHz-es sávba esik, ahol pedig nagyteljesítményű műsorszóró URH rádióállomások dolgoznak. Az ezek okozta zavaroktól, zajoktól nem könnyű megszabadulni. Nagy szelektivitású sávszűrők alkalmazása szükséges. A második esetben nem áll fenn ilyen probléma, azonban az oszcillátor magasabb frekvencián dolgozik és a venni kívánt jel kivonása nem könnyen valósítható meg.

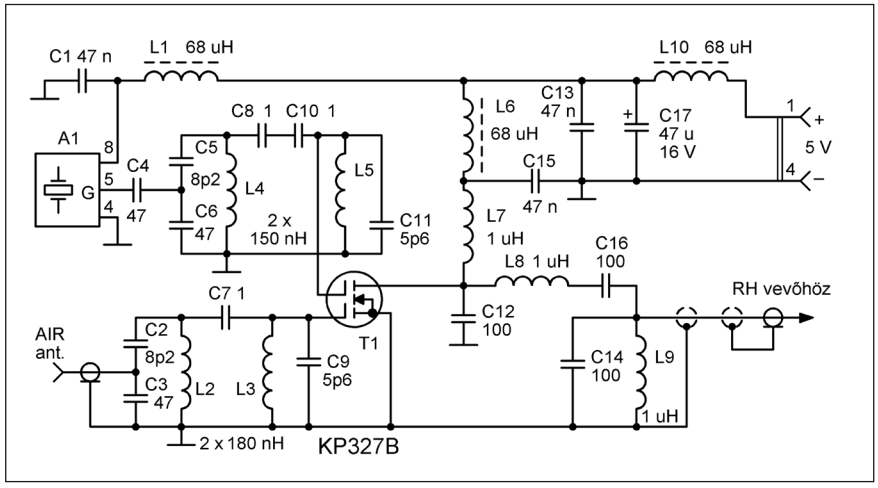
Az LC alkatrészekkel elkészített helyi oszcillátor sokszor nem teljesíti a vele szemben támasztott frekvenciastabilitási követelményeket. Ezért jobb, ha kvarc alapú oszcillátort használunk. Azonban az ilyen magas frekvenciákon alkalmazott kvarcok valamelyik harmonikuson rezegnek és direkt, az adott alkalmazásra vannak kifejlesztve. Az ilyen kvarcokhoz nem könnyen lehet hozzáférni, a velük elkészített oszcillátor behangolása különös figyelmet követel. Egy széles körben alkalmazott, közönséges 20...30 MHz-es kvarcot az ötödik-hetedik harmonikuson rezegtetni elég nehéz feladat.

Ezt a problémát azonban könnyen megoldhatjuk, ha „digitális oszcillátort” használunk, amely digitális jelszinteken szolgáltat négyszögjeleket. A számítástechnikában az ilyen oszcillátorokat gyakran használják ütemadóként. A szerző egy régi számítógép alaplapból építette ki az AKER gyártmányú AXO-400 sorozatú fémházas oszcillátort, melynek frekvenciája 48 MHz. E generátor frekvenciájának pontossága és stabilitása a -10...+70 ºC hőmérsékleti tartományban ±25 ppm, azaz $48 \cdot 10^6 \times 25 \cdot 10^{-6} = 1{,}2$ kHz, ami egy AM jel vételéhez tökéletesen megfelel. Hasonló oszcillátorokat találunk műanyag vagy kerámia tokozásban. A kimenő jel amplitúdója közel tápfeszültség nagyságú. Mivel ez a jel négyszög alakú, ezért nagyon magas a harmonikus tartalma. Ha a jel formája közel áll a meander alakhoz, úgy nem tartalmazza a páros számú harmonikusokat; esetünkben pl. a második, 96 MHz, illetve a negyedik 192 MHz-es jelet – nekünk meg ez éppen kedvező. Nincs más hátra, mint egy szűrővel kiválasztani a harmadik harmonikust, melynek frekvenciája 144 MHz.

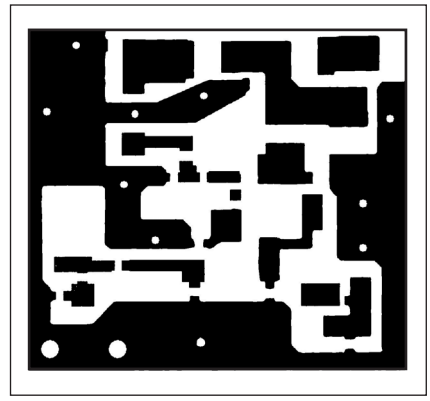
A konverter kapcsolási rajzát a **18. ábrán** láthatjuk. A C2, C3, L2, C7, L3, C9 alkatrészekkel a bemeneti sávszűrő lett megalkotva, amely átengedi az AIR-sáv jeleit. A szűrő számított frekvenciamenete a közepes frekvenciája tájékán néhány decibelnyit besüllyed, de a szűrő átviteli tényezője kedvező. A 87,5...108 MHz közötti jelek elnyomása 7...30 dB. A szűrő bemenetén koaxcsatlakozó található, amivel 50...100 ohmos AIR-sávú antennát köthetünk a konverterre.

Az A1-es kvarcgenerátor jele a C4 kondenzátoron át kerül a C5, C6, L4, C8, C10, L5 és C11 elemekből álló sávszűrőre. A két rezgőkör között található C8 és C10, gyenge csatolást adó, kondenzátoroknak betudhatóan az átviteli sáv néhány megahertz szélességű lesz. A szűrő 144 MHz-re van hangolva, ezzel további 40 dB-es elnyomást biztosít a második, illetve 30 dB-t a negyedik harmonikussal szemben.

Az antenna jele a bemeneti szűrőn át a MOSFET első gate-jére kerül, míg a helyi oszcillátor jele a második gate-re. Azért, hogy a konverter minél egyszerűbb legyen, a gate-ekre nem adunk előfeszültségeket, ezek egyen-



18. ábra



19 ábra

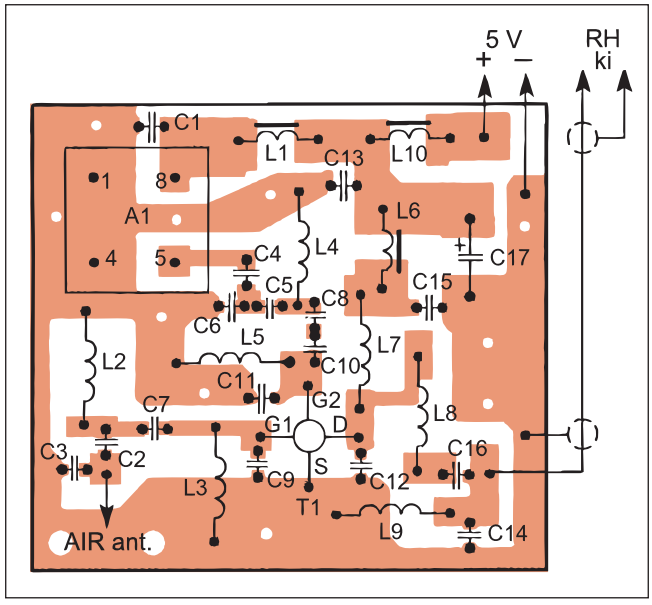
áramú szempontból a földre vannak kötve. Emiatt a jelátviteli (erősítési) tényező elmarad az elvárható maximumtól, azonban kapcsolásunkban nem kell alkalmazni egyetlen egy ellenállást sem. A konverter kimenetén található az L7, C12, L8, C14, C16, L9 szűrő, melynek átviteli sávja 7...26 MHz.

A konverter egy 45×50 mm-es, kétoldalas, üvegszálas nyák-lapra építhető meg, melynek nyomtatása a **19. ábrán** látható. Ennek egyik oldalán találhatók a vezetékek és az alkatrészek, míg a másik oldal a közös földvezetéket adja. Az ábrán látható furatokon keresztül, drótdarabkák segítségével kössük össze a vezetékezés oldalát a másik, teli rézfóliás oldallal. Az így összeállított, szerelt nyáklapot a **20.** és **21. ábra** mutatja.

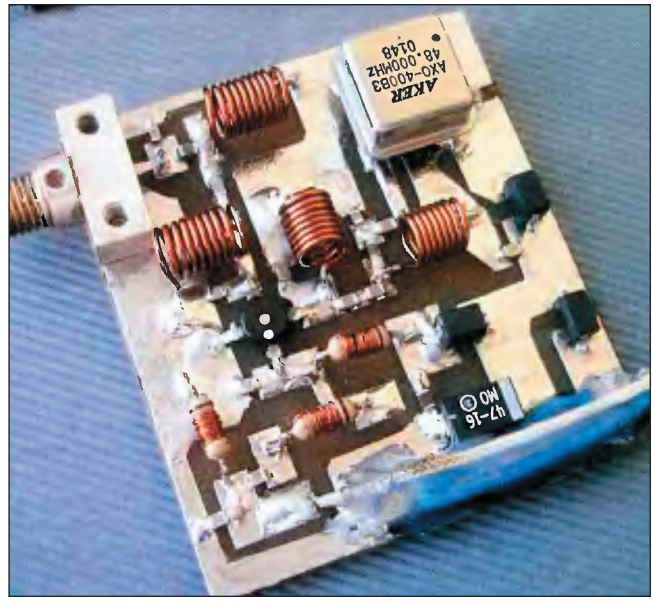
A konverter táplálása történhet pl. egy mobiltelefon tápegységéről, a felvett áram 30...40 mA. A +5 V-os tápfeszültség a kvarcgenerátor névleges feszültségértékére lett meghatározva, de használhatunk más (6...12 V) stabilizált feszültségértékeket is. Ebben az esetben az L1 fojtót egy olyan értékű ellenállásra kell kicserélni, melyen a feszültségtöbblet leosztódik. Ezen R1 ellenállás nagysága függ az U tápfeszültségtől és az oszcillátor által felvett I áramtól: R1 = (U-5 V)/I. Ekkor az ellenálláson eldisszipálódó teljesítmény: P_d = I(U-5 V). Ezért 5 V tápfeszültség mellett mérjük meg az áramfelvételt, majd számoljuk ki R1 nagyságát más feszültségértékre, miközben annak teljesítménye ne legyen kisebb, mint P_d.

A konverterben 0805 nagyságú, felületszerelhető kondenzátorok találhatók. Az orosz KP327B MOSFET helyett használható BF961, BF964, BF982 típusú, de ekkor a nyak-rajzot módosítani kell. Az L2...L5 tekercseket d = 0,7 mm-es zománcszigetelésű rézhuzalból készítsük el, 4 mm-es csévére. A menetszámok: L2 és L3: 7,5; L4 és L5: 9,5. Az L7...L9 tekercsek 0,12 mm-es zománcozott rézhuzalból készüljenek, vadtekercseléssel, egy-egy közönséges, minimum 500 kohmos, 0,25 W-os fémréteg ellenállásra, egyenként 33 menettel. Az L1, L6, L10 fojtók Bourns gyártmányúak, CM sorozatúak az induktivitásuk 33...330 mikroH közötti lehet (használható EC24 sorozat is). A nyák kialakítása olyan, hogy használhatunk drótlábas alkatrészeket is, pl. kerámia tárcsa kondenzátorokat. Lényeges, hogy minél rövidebbek legyen a lábaik. Szükség esetén változtathatunk a kialakításon is.

A külső antenna csatlakozós rövidhullámú rádióvevőt és a konverter



20. ábra



21. ábra

kimenetét egy vékonyabb koaxiális RF kábellel kössük össze. A szerző konverterét egy DEGEN DE1103 típ. rádióvevővel használta. Ebben a vevőben frekvenciaszintézer van, digitális skála, és ami a legfontosabb: külön RH sávi antennacsatlakozóval van ellátva. Ha erre rácsatlakozunk, úgy a beépített teleszkópantenna és RF erősítő automatikusan lekapcsolódnak. Ezáltal lecsökkenthetők a nagyteljesítményű RH adóktól származó zajok. Ha nem efféle RH-vevőnk van, akkor a konverter kimenetéről jövő huzaldarabból pár menetet (kísérlet!) tekerjünk reá a minimális méretűre állított (betolt) botantennájára. (A mintapéldány konverter külső műanyag dobozára egy golyóstoll házát ragasztotta a szerző, ezzel húzta rá, rögzítette konverterét az RH-vevő botantennájára.)

A konverter bemenetére az AIR antennát egy 50 ohmos koaxkábel d = 2...4 mm-es belső eréből alakítsuk ki; eltávolítva róla az árnyékoló harisnyát, de meghagyva rajta a polietilén szigetelést. A hossza 600 mm – ez nagyjából az AIR sáv negyede. Az antennát 50 ohmos koaxiális csatlakozóval vagy fixen beforrasztva kössük a konverterhez.

A tápfeszültség kábelét ajánlatos néhány menetben feltekerni egy kb. 20 mm ártmérőjű ferritgyűrűre. Ez lecsökkenti a 230 V-os hálózat, illetve az impulzus üzemű tápegység felől jövő zajokat.

A konverter működőképességének ellenőrzése után az eszközt zárjuk le fémfedéllel, melyet forrasszunk a nyák-lemez kerületéhez. A fedél magassága min. 15...20 mm legyen, így nem lesz hatással az RF-szűrők induktivitásaira.

A kész konstrukció nem szorul beállításra, azonnal működőképes. Ha antennát csatlakoztatunk rá, a hangszóróban megnövekvő zajt kell hallanunk. A szűrők pontos behangolását leellenőrizhetjük, ha az L2 és L3 tekercsekbe sárgaréz, illetve karbonil (RF) hangolómagot helyezünk. Ekkor a zajszintnek változnia kell. Ha ez a sárgaréz mag behelyezésekor történik meg, úgy a meneteket kissé szét kell húzni. Vegyük azonban figyelembe, hogy a szűrők amplitúdó-frekvencia karakterisztikája a középfrekvencia körül behorpad (azaz a széleken kiemelkedéseket találunk), ezért az ellenőrzést az egész sávban el kell végezni.

A helyi oszcillátor jelszintje (3 V) a MOSFET második gate-jén elegendő nagyságú ahhoz, hogy a keverő a megfelelő üzemmódban dolgozzon. Ezért nincs szükség előfeszültség alkalmazására ezen a gate-en. A másik gate feszültségét úgy mérhetjük meg, hogy egy RF diódát (bármilyen polaritással) kapcsolunk rá, míg a dióda másik végét egy párszor 100 pF-os kondenzátoron át a földre. Az így mérhető egyenfeszültség nagyjából meg fog egyezni a heterodin jel szintjével. Az egyenáramú mérőeszközünk bemeneti ellenállása min. 1 Mohm legyen!

Aki kedvet érez rá, fejlesztheti konverterét. Például a második gate-et el lehet látni egy ellenállásos előfeszültség osztóval. Ehhez forrasszuk ki a MOSFET második gate-jét. A FET ezen lába és a nyák-felület közé forrasszunk egy 47 pF-os, 0805-ös méretű kondenzátort. Az L7 induktivitásnak a kapcsolási rajz szerinti felső vége és a FET második gate-je közé repülő szereléssel forrasszunk be egy huzallábas 1 Mohmos ellenállást. Ugyanezen kivezetés és a földvezeték közé pedig egy100...500 kohmos ellenállást. A min. 100 kohmos ellenállás értékét maximális átviteli tényezőre (maximális zaj a hangszóróból) kell válogatni. Az ellenállások kivezetéseit a lehető legrövidebbre kell levágni! Nem biztos, hogy eredményes lesz az átalakítás, sok függ a vevőkészülékünk érzékenységétől.

(Ragyio 2016/9)

145 MHz-es ablakpárkány antenna

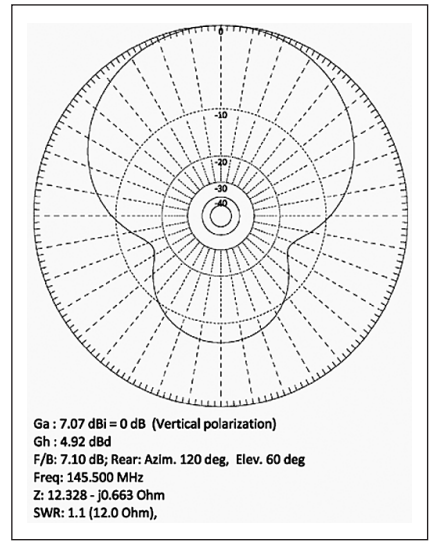
A **22. ábrán** látható kisméretű Yagi-Uda antenna egyes alkotóelemei között kevesebb, mint 0,1 lambda a távolság. Kis méretei és egyszerű konstrukciója dacára az izotróp sugárzóhoz képest a nyeresége 7 dB.

Az aktív sugárzó és a reflektor elem kölcsönös egymásra hatásának köszönhetően az aktív elemben folyó áram mintegy négyszerese a reflektor nélküli megoldásénak. Ennek következtében ennek bemeneti ellenállása is lecsökkent a negyedére. Az antenna alkotórészei által kibocsátott sugárzások az egyik irányban összeadódnak, a másikban kivonódnak. A **23. ábrán** látható az antennának a vízszintes síkban a MMANA-GAL program segítségével készített sugárzási iránygörbéje, illetve a számított egyes paraméterek.

Ezen program segítségével végzett, erősítés maximumra való optimalizálásra vonatkozó modellezés azt az eredményt adta, hogy az antenna bemeneti ellenállása 17 ohm, amihez nehéz a szabványos, 50 ohmos koaxiális kábelt illeszteni. A jobb illeszthetőség kedvéért a szerző inkább felvállalt 2% veszteséget az erősítési tényezőben, viszont ekkor 12,5 ohm bemenő ellenállást kapott. Ehhez az antenna elemei közötti távolság csökkentésére volt szükség. Esetünkben az illesztőtag két darab, párhuzamosan kötött, 0,25 lambda hosszúságú 50 ohmos koaxiális kábelből áll.

22. ábra

Ne feledkezzünk el arról, hogy a tömör szigetelőjű kábelben az elektromágneses energia lassabban terjed, mint a levegőben. Ezért a 0,25 lambda hosszúságú kábelszakasz geometriai hosszát úgy kapjuk meg, ha a negyed



23. ábra

hullámhosszot megszorozzuk a rövidülési tényezővel. Ez a tömör polietilén szigetelésű kábel esetében 0,66.

Az antennák megkonstruálása során fontos lépés a sugárzó és a direktor anyagának kiválasztása. Ha d = 2...2,5 mm-es tömör rézhuzalt használunk, úgy a skin-effektus mindent tönkretesz. Mint az ismeretes, 145 MHz frekvencia esetében az RF áram a réz anyagú vezetőnek csak a külső 5 mikrométeres, alumínium vezetőnek pedig 6 mikrométeres rétegében folyik. Az átfolyó áram nagysága és a vezető felszínétől való távolság között exponenciális függvény áll fenn, ezért a skin-effektus esetében nem beszélhetünk pontos alsó határról. Az azonban megállapítható, hogy a vezeték közepén gyakorlatilag nem folyik áram – ezért a nagyfrekvenciájú vezetőket gyakran készítik el fémcsövekből. A cső átmérőjének növelése növeli azt a felületet is, amelyen át képes folyni az RF áram, végső soron csökken az RF árammal szembeni ellenállás is.

A szerző Martexwell gyártmányú műanyag szigetelésű alumínium csöveket használt. A belső alumínium cső átmérője 14 mm, a műanyag szigeteléssel együtt a cső átmérője 16 mm. Ezekkel az adatokkal számolt a modellező program is. Mint az feltételezhető volt, a műanyag szigetelés egyfajta lassító elemként működik, ezért az antenna elemeit 3%-kal meg kellett rövidíteni.

Az antenna jó működéséhez még egy fontos dolog kell: körülötte biztosítani kell egy nem túl nagy, azonban üres környezetet. Ez az antenna ún. közeli zónája, melynek nagyságát szintén nem lehet élesen meghatározni. Azzal számolhatunk, hogy ez a zóna D^2/lambda távolságra (egyes szakirodalmakban ez az érték $2D^2$/lambda) van az antennától. Itt D az antenna legnagyobb kiterjedése, lambda a működési hullámhossz. A 145 MHz-es sáv esetében ez a távolság 0,5...1 m. Az antennához ennél közelebb eső tárgyak nemcsak csökkentik az antenna hatásfokát (mivel elnyelik az általa kisugárzott energia egy részét), de torzítják az iránydiagramot is. Mindezek következményeként megváltozik az antenna bemeneti ellenállása, amitől pedig a tápkábelben romlik az SWR is.

Ha d = 14 mm-es, műanyag bevonat nélküli alumínium csövet használunk, úgy az antenna méretei milliméterben a következők:

Az sugárzó hossza: 945
Rés a sugárzó közepén: 10
A reflektor hossza: 997
A elemek távolsága: 188

Az előzőekben említett, műanyag szigetelésű cső alkalmazásakor az aktív sugárzó hossza 916 mm-re, a reflektoré pedig 967 mm-re csökken. Ajánlatos az egyes elemeket 5...10 mm-rel hosszabbra hagyni és a végeik fokozatos levágásával az antennát a kívánt frekvencián SWR minimumra hangolni. Erre leginkább akkor lehet szükség, ha más anyagú, vagy más bevonatvastagságú csövet használunk.

Még egy javaslat a tápkábel bekötéséhez. A cső végéről távolítsuk el 10 mm hosszúságban a műanyag bevonatot, a csővéget dugaszoljuk le. Fehérbádogból készítsünk két bilincset, melyeket M3-as csavarral rögzítsünk az antennához. A gyakorlat azt mutatja, hogy az alumínium és a fehérbádog önbevonata megbízható és sokáig tartó elektromos kontaktust biztosít. Forrasszuk a bilincsekhez a kábeleket. Kisebb nehézséget jelenthet az alap tápkábel és a két illesztőtag-kábel összekötése. Ha csak egyszerűen összeforrasztjuk a középső ereket és az árnyékoló harisnyákat, majd az egészet a nyílt levegőn hagyjuk, úgy a tápvonalba inhomogenitást viszünk, ami miatt a kábelben haladó hullám egy része visszaverődik a forrasztási pontról.

Annak érdekében, hogy ezt elkerüljük, ajánlatos az összeforrasztott középső ereket műanyag ragasztószalaggal annyiszor körbetekerni, míg ennek vastagsága el nem éri a belső erek szigetelésének vastagságát. Ezt követően az így elkészült szigetelést fedjük be vékony rézfóliával, amelyhez legalább két-két ponton, egymással szemben forrasszuk hozzá a kábelek árnyékoló harisnyáit. Ezzel minimalizálhatjuk a veszteségeket. Végül ismét csak tekerjük körbe az egészet műanyag (szigetelő) szalaggal. Ajánlatos még az egész konstrukciót lefixálni, amihez használjunk egy kis alumínium csíkot, mellyel körbetekerjük az összeerősítési pontot.

Az antennát a szerző egy plexirúdon helyezte el, melyet egy műanyag cső tart meg a levegőben. Ez az állvány könnyen szétszedhető, a kábelt tartó plexi rúd könnyen lehajtható. Az összehajtott antenna könnyedén elfér egy autó csomagtartójában, majd egy kitelepülés során könnyedén felerősíthető egy árbócra.

(Ragyio 2018/11.)

A HAM-bazárból: V115 típ

Szuper Basszus Zenegép 10.990 Ft

RÁDIÓ: KH / RH / URH PLL szintézeres, érzékeny, nyújtott RH-sávok
MAGNETOFON: beépített mikrofon, line bemenet, felvétel a rádióról
mp3 LEJÁTSZÓ: microSD memória-kártya, max. 32 GB-ost kezel

- **sok memóriahely a rádióhoz**
- **sok funkció a digitális magnetofonhoz és az mp3 lejátszóhoz**
- **2 W-os szuper basszus hangzás – nem fog hinni a fülének!**
- **1000 mAh-s BL-5C Li-Ion akku (tartozék) + USB töltőkábel**
- **méret: 120 x 80 x 20 mm; súly: 0,15 kg**

Hozzá 4 GB-os memóriakártya: 1490 Ft

A HAM-bazárból: T-508 típ

Mini Zsebi Zenegép 7.990 Ft

RÁDIÓ: URH FM PLL szintézeres
mp3 LEJÁTSZÓ: microSD mem.-kártya, max. 16 GB-ost kezel
LED-es zseblámpa

- **sok memóriahely a rádióhoz**
- **sok funkció az mp3 lejátszóhoz, felvétel a rádióról**
- **USB bemenet, mp3 lejátszás USB pendrive-ról is**
- **2 W-os, nagy hangerő és 3,5 mm-es fülhallgató kim.**
- **800 mAh-s BL-5C Li-Ion akku (tartozék) + töltőkábel**
- **méret: 100 x 62 x 25 mm; súly: 0,1 kg**
- **készülékszínek: kék, mélyvörös, fekete (ami éppen van)**

Hozzá 4 GB-os memóriakártya: 1490 Ft

1

Cq de HA… Cq de HG… 2020

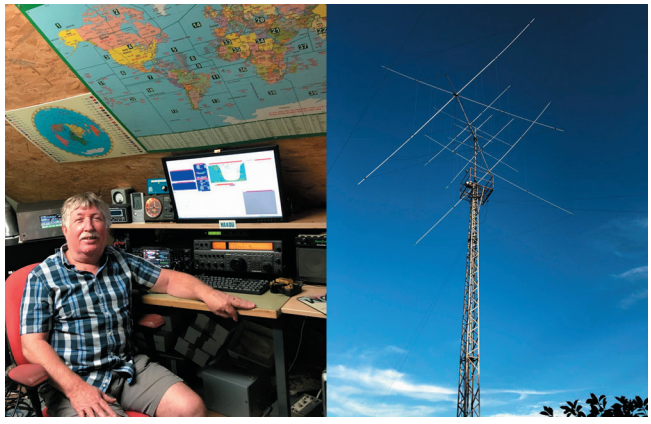
Lendvai Klára HA5BA, ha5ba@kispest.hu

Összetartozunk… A jugoszláv úttörő bajnokságtól a világ HST élvonalába – vendégünk volt egy vajdasági fiatalember. 30 éve minden évben megrendezi a Budapesti Rádióamatőr Szövetség a gyorstávírász szakág Budapest-bajnokságát, 1994-től jelenlegi színhelyén, a Puskás Tivadar Távközlési Technikumban. Kezdetben csak a budapestieket szólítottuk meg, de rövidesen országossá lett a verseny. 2020-ban, a Nemzeti Összetartozás Évében ismét

„szintet léptünk”, a verseny immár nemzetközi résztvevővel gazdagodott. Örömmel üdvözölhettük vajdasági magyar barátunkat, Szekeres Gábort, a markáns férfi mezőny tagjaként. Gábor zsenge korban, mindössze 14 évesen, YU7FN Rade kezei alatt ismerkedett meg a rádiózással, aki szenvedélyes CW-fanként kijelölte tanítványa útját ezen a pályán. 1988-at írtak akkoriban. Gabi első egyéni hívójele, a 4N7MOD 1989 áprilisára datálódik. 1993-ban már YU7WJ hívójellel rádiózik, majd 2007-től az S57WJ hívójel tulajdonosa. Közben családot alapított. Felesége, Jelka is rádióamatőr, S57NW. Gábor igencsak szép gyorstávírász eredményeket mondhat magáénak, 1989-ben, még úttörő kategóriában szerb országos bajnok lett, 1991-ben Csillebércen ifjúsági kategóriában 3. helyezett a magyar bajnokságon, szintén ebben az évben a Jászszentlászló-kupa ifjúsági kategóriájának győztese. 1993-ban a Jászszentlászló-kupa ifjúsági bajnoka. A 2020-as Puskás Tivadar Rádiótávírász Budapest-bajnokságon férfi kategóriában bronzérem kerülhetett a nyakába. HST világbajnokságon eddig négy alkalommal vett részt, először még jugoszláv színekben, 1995-ben. 2017-től folyamatosan, immár a szlovén válogatott erősségeként. További szép sikereket, Gábor, szeretettel várunk a magyar versenyekre!

HAM Radio 2020, Friedrichshafen – ezúttal másképp. Még április elején reménykedtünk, hogy júniusra rendbe jöhetnek a dolgok, de virulógusok véleményét elfogadva a szövetségi német kormány április 15-én, úgy döntött, hogy a járványhelyzet miatt nem engedélyezi tömegrendezvények megtartását, első körben augusztus végéig. Sok ezer lelkes rádióamatőr, kereskedő, vásárlátogató szembesült azzal a szomorú hírrel, hogy ez bizony kőkeményen érinti a HAM Radio Kiállítást, Friedrichshafenben. Így történt, hogy a vásárigazgatóság a 2020-as HAM Radio lemondására kényszerült. A vásár marketingesei szép kihívás előtt álltak, valahogy mégis össze kellene fogni a kiállítókat, szövetségeket, és ha máshogy nem lehet, ezúttal az online térben. Elsősorban a DARC kreativitásának köszönhetően ezúttal a virtuális, HAM RADIO platformként szolgálhatott idén is. A DARC június 26. és 28. között interneten közvetített panelbeszélgetéseket, „HAM RADIOnline” címmel. A weboldalon mindhárom nap programját meg lehetett tekinteni. Lehetőség adódott a kiállítóknak, szövetségeknek. hogy termékeiket, szolgáltatásaikat bemutathassák az online térben, Csak remélni tudjuk a mielőbbi vakcina hatékonyságát, és azt, hogy 2021. június 25. és 27. között a 45. HAM RADIO kapui ismét kinyílnak, a Bodensee partján.

„Stay home!” – aktivitás a karanténban, éljünk biztonságban! Kevesen gondoltuk ez év január 1-jén, hogy nagyszabású terveinket, fogadalmainkat bizony pillanatok alatt romokba dönti a mindenütt jelenlévő Covid-19 vírus. A március közepétől életünket meghatározó karantén adta kényszer, de az így keletkezett többlet szabadidő régen hallott pezsgést hozott a rádióamatőr sávokban. Így nemcsak a versenyeken, de a hétköznapokon is sokan rádióztak. A médiából folyamatosan elhangzó narratívát, miszerint „maradj otthon”, a szemfüles rádióamatőr azonnal lefordította rádióamatőr nyelvre. Sorra hallhattuk a világ számos országából forgalmazó, a Covid pandémiára utaló állomásokat, a teljesség igénye nélkül: 5Z4STAYHOME, 9M4STAYHOME, 9M4COVID, 9V1STAYHOME, CQ8THANKS, E2STAYHOME. Nem maradtak el a magyar amatőrök sem: HA0DX, Zoli által irányított HA0STAY és HA0HOME hívójelű állomások aktív részvétele a karantén-időszakban hőmérő által nem érzékelhető lázba hozta a sávokat. A szervezők mottója a rádióamatőrök egészségének védelme, ezért kérték őket a biztonságosabb otthon maradásra. A két hívójellel, bármely rövidhullámú sávban létrehozott CW, SSB vagy DIGI üzemmódban létesített összeköttetés esetén a debreceni fiúk sorszámozott emléklapot küldtek. Az aktivitás a kormány által bejelentett járványügyi helyzet végéig, június 17-ig tartott.



IARU HF Világbajnokság 2020 – ismét volt magyar HQ állomás! A Homokhátság remek rövidhullámú éterversenyzője, számtalan világversenyen elért kiemelkedő helyezés birtokosa, HA8DU, Péter OM megelégelte, hogy már két éve nem hallható a Magyar Rádióamatőr Szövetség HQ állomása a rövidhullámú világbajnokságon. Belső indíttatásból, nagyszerűen felszerelt állomásával a háta mögött gondolt egy merészet és jelentkezett a MRASZ-nál, hogy ő kíván a HG0HQ hívójellel forgalmazni. Amint ez nyilvánosságra került, többen csatlakoztak Péter kezdeményezéséhez. Az alapos, igen nagy erőfeszítést igénylő szervezőmunka eredményeként összeállt a magyar „válogatott". A 24 órás verseny informatikai, műszaki és logisztikai hátterének a biztosítása nem bizonyult egyszerű feladatnak. A 24 órás versenyen az SSB üzemmódot a HG5A csapat, HA1WD Gyuri, HA5IW Simi, HA0LC Joe, valamint Kis Ádám operátorok vitték. A távíró üzemmódban a tapasztalt HG8DX kollektíva emberei dolgoztak, HA4FF Zoli, HA8DU Peti, HA8EK Tami, HA8FM Tibi, HA8KW Fecó és HA8LLK Attila. A fiúk CW-n 5472, SSB-n 3766 QSO-t létesítettek. Jó volt ismét a MRASZ szorzót naplózni mindenkinek! Köszönet illeti Petit és csapattársait!

Dél-Orkney expedíció, VP8PJ. Egyetlen magyarként, mint a Perseverance DX Group tagja HA0NAR. Laci, ez év februárjában útra kelt, hogy hobbijának és tudományos munkásságának eleget téve megfeleljen az újabb kihívásnak. Az úticél ezúttal az Antarktiszhez tartozó, brit és argentin fennhatóság alatt álló, 6,5 km hosszúságú, 5 km szélességű Dél-Orkney-szigetek. A terület legnagyobb részét jég borítja, az átlaghőmérséklet 0 és mínusz 10 C fok között van. Ez a hely a világ tíz legritkábban látogatott helyeinek egyike, kiemelt természetvédelmi terület. A szigetre való belépés speciális hatósági engedélyekhez és szigorú szabályokhoz kötött. 1903-tól kutatóállomás működik rajta. A VP8PJ hívójelű DX expedíció szállítója a legendás Bravehart kutató hajó volt, amely jelenleg szintén az antarktiszi területekhez tartozó Dél-Georgia-szigetek környéki vizeken végez bálnamegjelölést, műholdas követő eszközökkel. Az expedíció konténere a szükséges felszereléssel a Panama-csatornán keresztül jutott Chilébe. Majd egy hetes hajóút következett, a veszélyes Horn-fok megkerülésével, a Drake-átjárón keresztül, majd végezetül a csapat elérte a Dél-Orkney-szigeteket. A 14 tagú legénységből álló nemzetközi expedíció operátorai az első összeköttetést február 22-én naplózhatták. Az urak 160 m-től 10 m-ig, CW, SSB, RTTY és FT8-as üzemmódokban forgalmaztak, 83 724 összeköttetést létesítettek, 20 530 állomással, 168 DXCC körzetből. Összesen 14 napot töltöttek a Signy-szigeten, ezt követően 2020 március közepén indultak vissza Chilébe. Laci a 30 és a 40 m-es 4sq antennák megépítéséért és folyamatos üzemben tartásáért felelt. Elsősorban az alsó sávokon dolgozott, CW üzemmódban! Bravó és tnx Laci!

Egy páratlan életút végén – búcsú a honi távközlés kiválóságától, Laci bácsitól. HA5BK silent key (1933-2020). Édesapám „Rádiótechnika" gyűjteményében, mely lapokat a hatvanas évek végén még épp csak „átlapoztam", találkoztam először a Hetényi László HA5BK névvel. Édesapám alaposan szemügyre vette, elsősorban a szerző által publikált műszerkapcsolásokat. Egy idő után azt vettem észre, a magam 13-14 évével, hogy a Hetényi név ismerősen csengett, szinte kerestem havonta a megjelent készülék-leírását. Így utólag, a rádióamatőr kifejezést is tőle olvashattam először, bár akkor még nem tulajdonítottam ennek nagy jelentőséget. Egészen 1972 májusáig, amikor már büszkén olvastam egy korábbi Rádiótechnikában közölt 5BK-féle 20 W-os, 2 db EL84-es elektroncsöves, 3,5 MHz-es adóról, melyet 1973 nyarán apámmal megépítettünk. Jóval később, a kilencvenes évek közepén egy BURABU rendezvényen beneveztem az old timer adót a konstruktőri versenyre, melyen ott volt Laci bácsi és Édesapám. Ez a pillanat emlékezetes maradt számomra! Rádióamatőr nemzedékek egész sora nőtt fel HA5BK cikkein, könyvein. Mindig mindenkinek segített, halkan, visszafogottan, szívből… Egész életútját, szakmaiságát meghatározta rendkívüli elkötelezettsége a távközlés, a híradástechnika iránt. Drága Laci bácsi, örülök, hogy volt alkalmam Téged személyesen ismerni, szerénységed, szakmai alázatod példa értékű, követendő. A jó harcot megharcoltad, a pályát végigfutottad – nyugodj békében!

Sok kis kapcsolás

Hobby Elektronika című folyóiratunk első (1990. júniusi) számától igen nagy népszerűségnek örvendett az abban rendszeresen jelentkező „skk – sok kis kapcsolás” rovat. Napjainkban ezen régebbi számok gyakorlatilag beszerezhetetlenek és a közismert mottó – Egy újszülöttnek minden vicc új! – elektronikabeli variánsa is igaz. Évkönyvünkben most továbbfolytatjuk a régebbi Hobby Elektronika évfolyamok skk-tallózását.

Fordulatszám-kijelző gépkocsikhoz

Régebbi típusú személyautókban nincs beépített motorfordulatszám-kijelző. Pedig egy ilyen műszer a porlasztó és a gyújtás stb. beállításakor komoly segítséget nyújthat. Egyszerű, de használható fordulatszám-kijelző elkészítéséhez ad ötletet az **1. ábra**.

A TTL IC számára a gépkocsiból R1 és az 5,1 V-os Z-dióda stabil tápfeszültséget biztosít. Az IC (monostabil multivibrátor) a jármű megszakítójáról R2-n és R3-n át kap – a másik Z-dióda által határolt – indítóimpulzusokat.

Az IC 6. kivezetésén fellépő kimeneti impulzusok hosszát a kondenzátor és a trimmer-potenciométer határozza meg, amely az áramkör kalibrálását követően állandó értékű. Így tehát az alapműszer mutatója a bemeneti impulzusok sűrűségével, azaz a járműmotor fordulatszámával arányos mértékben tér ki.

Funkciógenerátor 555-tel

Érdekes megoldású rezgéskeltő kapcsolási rajzával találkoztunk egy bolgár szaklapban (**2. ábra**). A jól ismert 555-ös IC nemcsak négyszögjelet, hanem – néhány további alkatelem segítségével – háromszögjelet is szolgáltat.

A rezgések frekvenciáját alapvetően a C1 kondenzátor határozza meg, a kitöltési tényezőjüket pedig a P1 potenciométerrel kb. 0,1-től kb. 0,9-ig lehet változtatni. A négyszögrezgések az IC harmadik kivezetésén jelennek meg.

Az említett kondenzátoron fellépő feszültséget C7-R3-C4-gyel és az emitterkövetőként üzemelő tranzisztorral formálva és leválasztva jutunk a háromszögjelekhez. Ezeket a tranzisztor emitteréről nyerjük.

P1 középállásában a háromszögjel közel szimmetrikus; ez pl. az R3 változtatásával pontosítható.

Antenna, hordozható CB-hez

A hordozható CB készülékek antennája rendszerint igen rövid, ezért rádiós szempontból veszteséges. Ha a használati körülmények azt lehetővé teszik, akkor érdemes egy, a szokásosnál hosszabb antennát készítenünk.

A **3. ábrán** az orosz Ragyió c. folyóirat nyomán az antenna vázlata, s az ott szemléltetett „dobozkában” elhelyezett illesztőtag kapcsolási rajza látható. Ez utóbbi elektromosan meghosszabbítja a kb. 90 cm-es antennapálcát a 11 m-es hullámhossz egynegyedére, továbbá illeszti a készülékhez szükséges 50 ohmos terhelő-impedanciára.

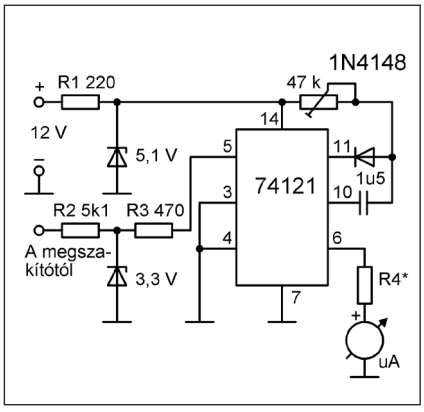
A rugalmas acélpálca átmérője kb. 2 ... 2,5 mm lehet. L1 6 mm-es átmérőre, 0,8 mm-es rézhuzalból készül: 9 menet, 12 mm hosszon. L2 (a hosszabbító tekercs) szintén 6 mm-es átmérőre, 0,4 mm-es huzalból, 40 menet, szorosan csévélve. A két kondenzátor kerámia szigetelésű.

Módosított „diódás vevő”

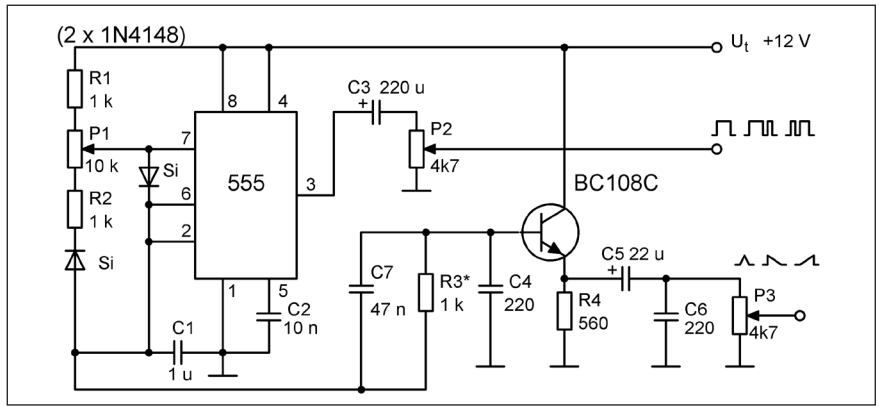
Két korábbi HE-számban (1993/3 és 4) ismertettünk egy tranzisztoros demodulátoron alapuló egyenes vevőt, amelynek leglényegesebb adottsága a bemeneti rezgőkör kis terhelése volt. Most a **4. ábrán** egy hasonló kapcsolást mutatunk be, ezúttal jFET-es demodulátorral. A bemeneti kör elemeinek (antenna, L, C) kialakítására itt is a hivatkozott, két részes cikkben leírtak az irányadóak.

Egyszerű fázisérzékeny egyenirányító

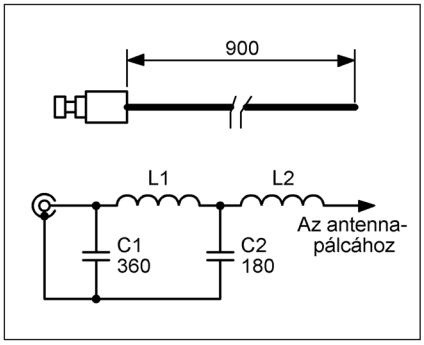
Egy neves európai műszergyártó cég hosszú évekig használta a legkülönbözőbb, induktív elmozdulásérzékelős műszereiben a **5. ábra** szerinti frap-



1. ábra



2. ábra



3. ábra

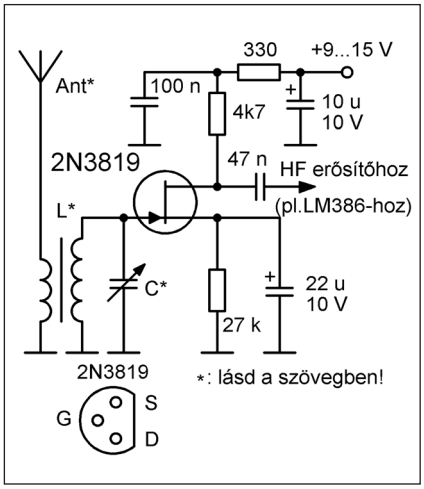
páns kapcsolást. Ellentétben az ismert fázisérzékeny mérő-egyenirányítókkal, ez középleágazásos transzformátor nélkül, két szokványos „tucattranzisztor” segítségével valósít meg egy nagy stabilitású, kitűnő paraméterekkel rendelkező, kétutas egyenirányító kapcsolást.

Figyelem! Lehet, hogy az áramköri elrendezés máig szabadalommal védett, ezért azt ki-ki csak saját céljaira építheti meg! Az 1:1 áttételű, légrés nélküli fazékmagra tekercselt Tr1 trafó adatait nem közölték. A méretezésnél az ismert „ökölszabályt” tekinthetjük mérvadónak: a tekercsek X_L-je legalább négyszerese legyen a terhelőimpedanciának!

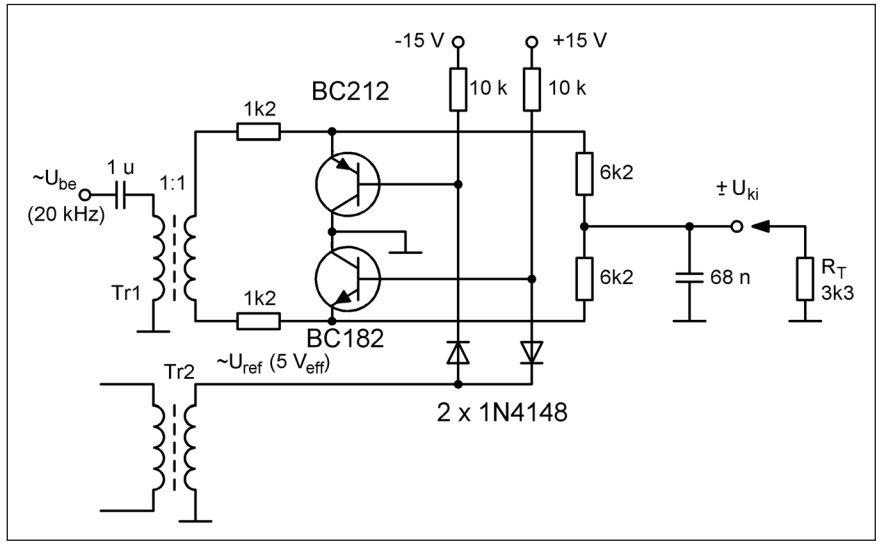
A Tr2 eredetileg a különleges kapcsolástechnikájú szinuszoszcillátor része; ezen a helyen nem foglalkozunk vele.

„Ötperces” TTL-teszter

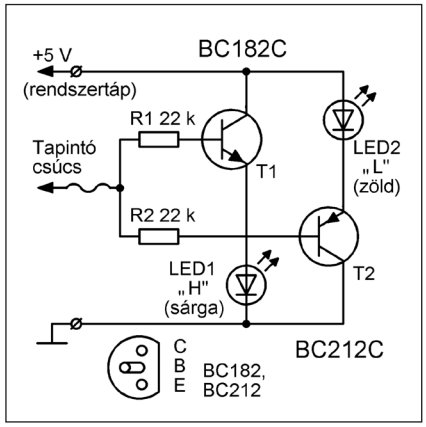
Sürgős esetben akár egy kísérleti panelon, egyszerű, mindig kéznél levő alkatrészekből, néhány perc alatt összeállítható a **6. ábrán** bemutatott „szintceruza”. E teszter képességei szerények ugyan, de többnyire pillanatok alatt eldönthető a segítségével, hogy egy egyszerűbb logikai hálózatban –, ha az statikus állapotban van, azaz órajelet nem kap –, melyik tok hibásodott meg.



4. ábra



5. ábra



6. ábra

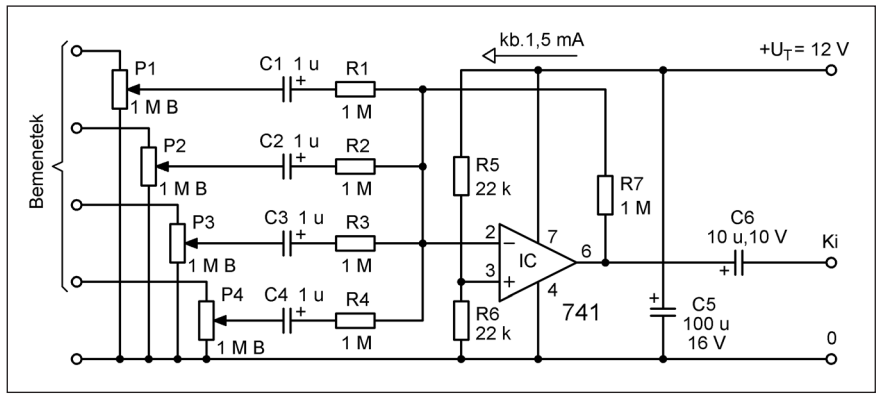
Ahhoz, hogy az emitterkövetőként kapcsolt T1 tranzisztor vezessen, a tapintócsúcsot U_{be} + U_{LED1} = +2,7 V-ra kell emelni, azaz a „H” kijelzéshez minimálisan ekkora bemeneti feszültség kell.

Az „L” LED-et a T2 pnp-tranzisztor működteti. Utóbbi kinyitásához – abszolút értelemben – 5 V - (U_{be} + U_{LED2}) bemeneti szintre van szükség, azaz az „L” LED akkor világít, ha a tapintócsúcs 2,3 V-nál alacsonyabb potenciálú pontot érint. Tehát az alacsony szint értékelése nem teljesen korrekt.

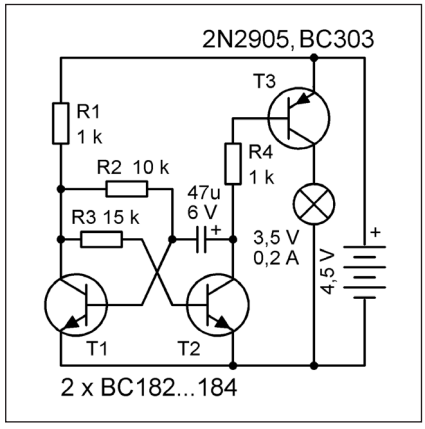
Amennyiben a tapintócsúcsot nagy impedanciás, letiltott kimenethez érintettük, vagy az a „levegőben lóg” (esetleg a megérintett pont és a tesztelt áramkör többi részei között szakadás van), akkor egyik LED sem világít.

Hangkeverő, műveleti erősítővel

Egyszerű, négy bemeneti csatornás hangfrekvenciás keverőfokozat kapcsolási rajzát mutatja a **7. ábra**. A „V” jelű, alacsony impedanciás pontra (az IC 2. kivezetésére) akár több, akár pedig kevesebb bemeneti csatornával is



7. ábra



8. ábra

csatlakozhatunk. Minden egyes csatorna erősítése – a saját potenciométerének felső csúszkaállása esetén – egyszeres.

Az ábrázolt „egytelepes” táplálásból eredően az IC-t az R5 és az R6 állítja be a féltápfeszültségű üzembe. Az 1 uF-os és a 10 uF-os – lehetőség szerint tantál (Ta) – kondenzátorok a hangfrekvenciás ágakban így kialakult egyenfeszültségű összetevőt választják le.

A kapcsolást, amelynek tápfeszültsége 12 ... 24 V lehet, általában az egyes hangcsatornák előerősítőit követően alkalmazzuk, így az IC zajjellemzői nem kritikusak. Az „ős” uA741 típustól kezdve az LM-, vagy az LF-sorozat szinte bármely műveleti erősítő tagja alkalmazható. Az ábrán a kivezetések számozása a nyolclábú tokra vonatkozik.

Zseblámpa-villogtató

Nyári gyermektáborok, esti, éjszakai kirándulások egyik kedvenc játékszere a zseblámpa. A lámpa a hagyományos feladatán túl előre megbeszélt típusú, vizuális jelzések adására is alkalmas. Egyenletesen villogó fényt eredményez a **8. ábrán** vázolt, s a lámpa dobozába is beépíthető áramkör.

A T1 és a T2 tranzisztor a passzív alkatelemekkel aszimmetrikus felépítésű, de közel szimmetrikus kimeneti négyszögjelet szolgáltató astabil multivibrátort alkot. Ennek kimeneti jele az R4-en át, percenként kb. 90-szer kapcsolgatja a T3 tranzisztort, így az izzó villog. A feltüntetett 47 uF helyett nagyobb kapacitást alkalmazva a villogás szaporasága arányosan csökkent.

Célszerű a kapcsolást úgy kialakítanunk, hogy a zseblámpa akár villogó, akár pedig folyamatos fénnyel is üzemeljen.

Polaritásváltó feszültségkonverter

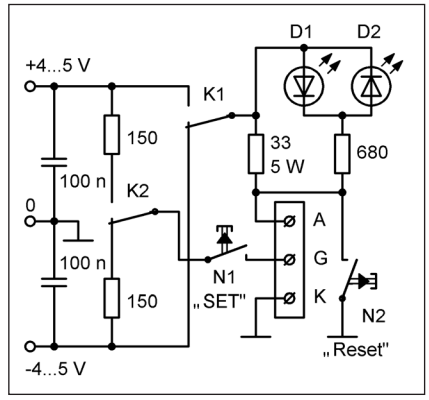
A szakirodalomban számtalan áramkörrel találkozhatunk, amelyek a testhez (a közös áramköri ponthoz) képest nem csak a szokványos pozitív, hanem negatív tápot is igényelnek. A negatív tápfeszültségű ágban néhány mA áramfelvételű áramkörökhöz alkalmazható a **9. ábrán** szemléltetett kapcsolás.

A kapcsolás bemenetére az U_{be} +6 ...+12 V-nyi egyenfeszültség érkezik. A kimeneten jó közelítéssel ugyanekkora abszolút értékű, de ellentétes polaritású $-U_{ki}$ egyenfeszültség jelenik meg. Ez utóbbi értékét vagy az R3 vagy az R4 változtatásával lehet beállítani.

Ha a kapcsolás után még további szűrést, ill. stabilizálást alkalmazunk, akkor az R4 (ábra szerinti) jobb oldali vége a teljes áramkör kimenetéhez csatlakozzék!

Tirisztor-/triakteszter

A **10. ábrán** látható, rendkívül egyszerű kapcsolás tirisztorok, ill. triakok „megy – nem megy” tesztelésére alkalmas. Triakok esetén mindkét irányú vezérlés tesztelésére mód nyílik az A, ill. G pont polaritásának a K1, ill. K2 váltókapcsolóval történő átkapcsolásával.



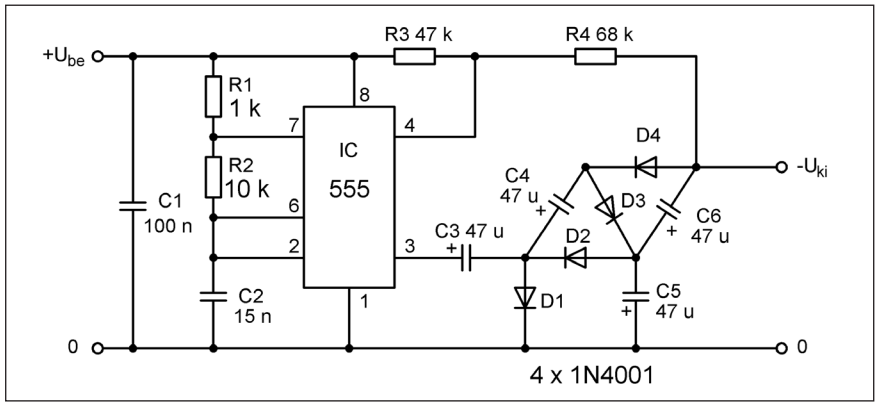
10. ábra

A vizsgálandó eszközt a A-G-K pontokhoz csatlakoztatjuk. Ha a polaritásokat megfelelően állítottuk be, akkor az N1 megnyomásakor az eszköz „begyújt”, és a beállított áramiránytól függően a D1 vagy D2 világítani kezd, miközben a 33 ohmos munkaellenálláson kb. 125 mA folyik. Az eszköz az N2-vel kikapcsolható.

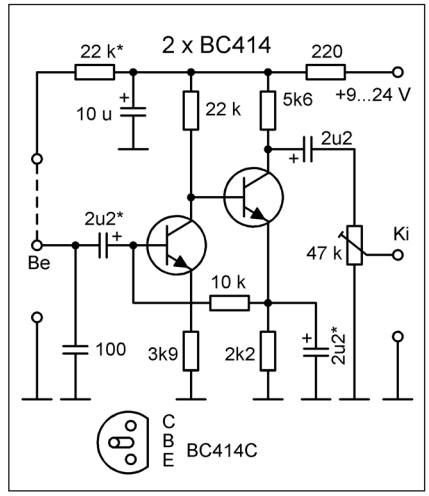
A szimmetrikus vizsgálati feszültség (amelyet akár két 4,5 V-os telep is szolgáltathat) olyan alacsony, hogy helytelen csatlakoztatás vagy a K1, K2-vel helytelenül beállított polaritás sem teheti tönkre a kapcsolóeszközt. Éppen ezért a teszter az ismeretlen tirisztor, triak kivezetéseinek azonosítására is alkalmas.

Univerzális mikrofonerősítő

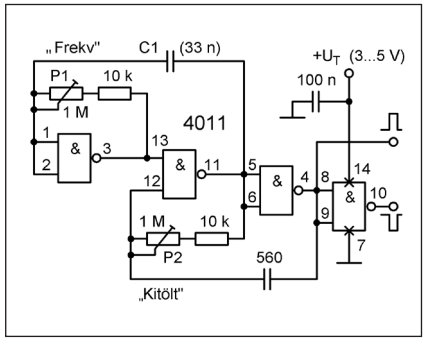
A **11. ábra** szerinti előerősítő egy egyszerű, alacsony zajú, kis torzítású,



9. ábra



11. ábra



12. ábra

jól bevált kapcsolástechnikájú, stabil áramkör. A bemenetére mind dinamikus mikrofon, mind 3-, ill. 2-kivezetéses elektrétmikrofon csatlakoztatható; utóbbihoz a szaggatott vonallal jelölt átkötést is meg kell valósítani. A csillaggal jelölt ellenállás az adott mikrofon és a tápfeszültség függvénye. Legjobb az értékét próbálgatással kikísérletezni úgy, hogy a mikrofon azonos hangnyomással való gerjesztése a legnagyobb amplitúdójú kimenőjelet eredményezze.

Az erősítő sávhatárai a -3 dB-es pontok között 10 Hz, ill. 40 kHz; erősítése kb. 200-szoros (a csillaggal jelölt kondenzátor elhagyásával 15-szörös); a kimenő jel maximális amplitúdója – 12 V tápfeszültség esetén – 5 Vcs-cs. A kapcsolás áramfelvétele 12 V-ról kb. 2 mA.

Változtatható frekvenciájú és kitöltési tényezőjű négyszöggenerátor

Egyetlen 4011-es tokkal, a szokásos diódák nélkül is készíthető olyan négyszöggenerátor, amelynek frekvenciája és kitöltési tényezője egymástól függetlenül, két potenciométerrel állítható be.

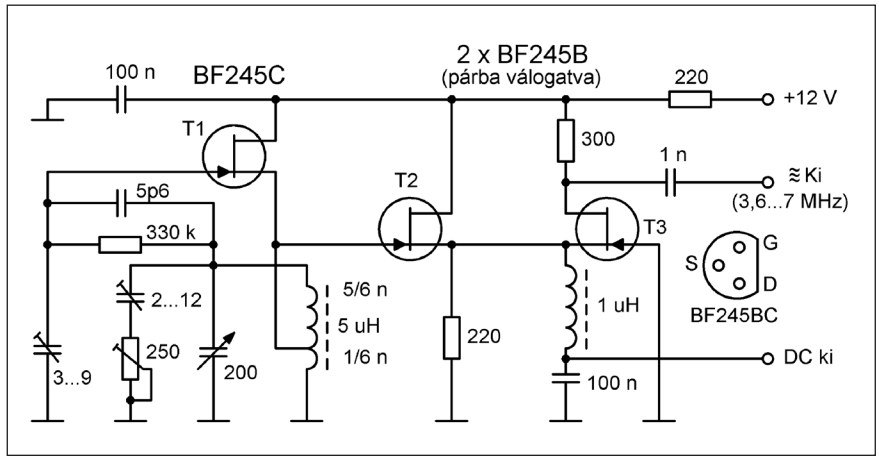
A **12. ábrán** bemutatott kapcsolás lényegében egy astabil és egy monostabil multivibrátor szokatlan „összeházasításából" született. A feltüntetett kapacitásértékekkel a P1-el beállítható frekvenciatartomány kb. 140 Hz ... 10 kHz; a kimeneti impulzus szélessége min. 10 us. Ezek az adatok a kapacitásértékek módosításával széles tartományban megválaszthatók. A paraméterek stabilitása érdekében célszerű a tápfeszültséget stabilizálni.

Kis fáziszajú RF-oszcillátor

A **13. ábrán** látható érdekes oszcillátor-kapcsolást eredetileg rádióamatőr célokra dolgozták ki, de egyéb alkalmazásokban is hasznos lehet. A kis fáziszajon kívül – ami a T1 FET-en alapuló kapcsolásnak köszönhető – további előnye a széles frekvenciasávban való hangolhatóság, és a hangolási tartományon belüli egyenletes frekvenciamenet.

Az oszcillátort a T2, T3 FET-es differenciálerősítő, mint elválasztó erősítő követi. A közös source-ellenálláson átfolyó átlagos áram, ezzel az ellenálláson eső feszültség is arányos a kimenőjel amplitúdójával, ami a „DC" kimeneten ellenőrizhető.

Az eredetileg a 3,5...7 MHz-es tartományra méretezett kapcsolás frekvenciáját a 200 pF végkapacitású forgóval állíthatjuk be. A sávon belüli frekvenciamenetet a trimmerkondenzátorok és a trimmerpotenciométer szisztematikus állítgatásával tehetjük minél egyenletesebbé.



13. ábra

»AKCIÓ 215«
évkönyvrendelés

Rendelje meg a 2022-es

RÁDIÓTECHNIKA ÉVKÖNYV-et!

(szállítása 2021 novemberben)

Ajánlatunk – rendelésre / befizetésre – 2021. június 30-ig érvényes!

4950 Ft helyett csak 3990 Ft-ért!

(plusz postaköltség)

Rendelek:.....db-ot

Név:.....

Cím:.....

Az OLVASHATÓAN kitöltött megrendelés beérkezte után küldjük a csekket.
Címünk: 1550 Budapest, Pf. 123.
Akciós megrendelést csak ezen eredeti szelvényen fogadunk el!

HIRDETÉSEK

Akkuvásár . . . . . 198. oldal
ANICO Kft. . . . . Borítólap I.
Digitális műszerek . . . . 134., 185., Borítólap IV.
Forrasztóállomások a HAM-bazárból . . . 120., 185. oldal
Frekvenciamérők a HAM-bazárból . 17., 185. oldal
Global Focus Kft. . . . . 75. oldal
HAM-bazár kínálata . . . . . 17., 33., 120., 158., 185-189., 216 oldal
Hi-Fi könyvek . . . . . 173. oldal
Hobby Elektronika Füzetek . . . . . Borítólap III.
INCOMP Kft. . . . . Borítólap I., 119. oldal
KONTEL Kft. . . . . Borítólap I.
Könyvek a HAM-bazárból . . . . . 88., 173. oldal
LOMEX Kft. . . . . 49. oldal
Maus Electronics Kft. . . . . 97., 173. oldal
PMR adó-vevő akció . . . . . 134. oldal
Próbapanelek . . . . . 198. oldal
Rádiós könyvek . . . . . 173. oldal
Rádiótechnika 2021-es előfizetési akció . 3. oldal
Rádiótechnika régi évkönyvek vására . . 119. oldal
Rádiótechnika 2022-es évkönyv akció . 215. oldal
RET elektronika (Robtron El. Trade Kft.) Borítólap I.
Reményi I. Rádióamatőr Alapítvány . . . . . 16., 185. oldal
RITTAL . . . . . 135. oldal
Rohde & Schwarz Budapesti Iroda . . Borítólap II., 50. oldal
Sylvania . . . . . 89. oldal
TALI Bt. . . . . 185. oldal
Távvezérlők a HAM-bazárból . . . . . 216. oldal
Zenegépek . . . . . 209. oldal

UNIVERZÁLIS távvezérlők – mert soha nincs kéznél...

URC20

- 6 készüléket vezérelhet: TV1-TV2-VCR-SAT-CBL és HIFI
- több száz világmárka, több ezer készülékének alapfunkcióit tudja
- nem felejtő memória az elemcseréhez
- 2 x AAA elemmel működik

csak **990 Ft**

URC21

- 8 készüléket vezérelhet: TV1-TV2-VCR1-VCR2-SAT-CBL-HIFI és DVD
- több száz világmárka, több ezer készülékének alapfunkcióit tudja
- nem felejtő memória az elemcseréhez
- 2 x AAA elemmel működik

csak **1290 Ft**

URC11T

- 10 készüléket vezérelhet
- előre programozott és **tanítható** kódok
- bármely infrás távirányító (klíma, ventilátor...) bámely funkcióját megtanulja
- kedvenc csatorna- és makrofunkció
- 4 x AAA elemmel működik

csak **1990 Ft**

HAM-bazár Budapest XIII., Dagály u. 11. I. em. folyosóközép H-P. 09–14, Cs. 09–17 óra
Rendeljen, postán is elküldjük, a postaköltség felszámításával! 1550 Budapest, Pf. 123 239-4932/36 239-4933/36
hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu

4

MÁR MEGJELENTEK

A digitális HE Füzetek is kaphatók: www.dimag.hu

Egy-egy szám ára: 2790 Ft.
Rendeljen, mert el fog fogyni!

A HAM-bazár nyitva H–P. 09–14, Cs. 09–17 ó.,
Bp. XIII., Dagály u. 11. I. em.

Tel./fax: 239-4932, 239-4933 1550 Budapest, Pf. 123 hambazar@radiovilag.hu

R&S®NGP800 SOROZATÚ TÁPEGYSÉGEK

Rugalmasság – határok nélkül

ROHDE&SCHWARZ

Make ideas real

Digitális multiméterek

>Mastech<
MS-8209

4 digites spec. DMM

Hangnyomásszintmérés:
35...100 dB
Megvilágításmérés:
4000 lx/40 000 lx
Páratartalommérés:
30%...95% RH
Hőmérsékletmérés:
20...+1000 °C

U-I DC:
0,4 V - 600 V; 40 mA - 10 A
U-I AC:
4 V - 600 V; 40 mA - 10 A
R: 400 ohm - 40 Mohm
C: 4 nF - 200 µF
f: 200 kHz

kitöltési tényező mérés
relatív mérés
aut. méréshatárváltás stb.

hordtáska
mérőzsinór
K-típ. hőmérőszonda

csak bruttó
17.990 Ft

MX-25 201

3 1/2 digites kijelzés

DC: 1000 V,
20 A
AC: 750 V,
20 A
R: 20 MΩ
C: 200 µF
T: –40...
+1000 °C

dióda-,
tranzisztor-
teszt,

szakadás-
vizsgálat

mérőzsinór,
hőmérőfej,
műanyag
védőpapucs

csak bruttó
7.990 Ft

MX-25 303

3 3/4 digites kijelzés

automatikus
méréshatár-
váltás

DC: 1000 V,
10 A
AC: 750 V,
10 A
R: 40 MΩ
C: 100 µF
f: 10 MHz
T: –40...
+1000 °C

dióda-,
tranzisztor-
teszt,
szakadás-
vizsgálat

mérőzsinór,
hőmérőfej
+250 °C-ig,
műanyag
védőpapucs

csak bruttó
8.990 Ft

Kaphatók a szerkesztőség HAM-bazárjában: **Budapest XIII., Dagály u.11. I. em.**, H-P: 9-14, Cs. 9-17 ó.
Utánvéttel is megrendelhetők, a postai és csomagolási költségek felszámításával.
Postacím: 1374 Budapest, Pf. 603. Tel./fax: 239-4932, 239-4933.
E-mail: hambazar@radiovilag.hu www.radiovilag.hu

MX-25 304

3 1/2 digites kijelzés

DC: 1000 V,
20 A
AC: 750 V
20 A
R: 2000 MΩ
C: 200 µF
L: 20 H
f: 10 MHz
T: –40...
+1000 °C

dióda-,
tranzisztor-
teszt,
szakadás-
vizsgálat

mérőzsinór
és hőmérőfej
+250 °C-ig,
műanyag
védőpapucs

csak bruttó
12.990 Ft

LCR-mérők

DM-4070

200 µH ... 20 H,
200 pF ... 2000 µF,
20 ohm ... 20 Mohm

csak bruttó
15.990 Ft

HP-4070L

20 mH ... 20 H,
2 nF ... 200 µF,
20 ohm ... 2000 Mohm

csak bruttó
9.990 Ft

>HoldPeak<
HP-870N

AC-DC univ. lakatfogó műszer

I DC: 0,1–1000 A
I AC: 0,1–1000 A
U DC: ...1000 V
U AC: ...750 V
R: 60 MΩ
C: 99,99 mF
f: 9,99 MHz
T: –20...+100 °C.

4 digit. kijelzés,
dióda- és
szak.vizsgálat;
impulzus-
kitöltés-mérés.,
aut. kikapcs.,
adattartás;
hordtáska
+ mérőzsinór,
+ hőmérőfej

csak bruttó
22.990 Ft

Tartozékok a multiméterekhez:
Tapintóhőmérő (K-típ.) MX-25 104, MX-25 201,
MX-25 303, MX-25 304 és MX-25 501-hez, á.: 1490 Ft.